



Departamento
de Engenharia Eletrotécnica

**Criação de ferramentas e controlo de recursos
para a execução de *Overall Equipment
Effectiveness* em Processos Industriais — Estágio
na MDA, Moldes de Azeméis, SA**

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Eletrotécnica — Área de Especialização em
Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Autor

Alexandre Francisco Ferreira Pereira

Orientadores

Carlos Manuel Borralho Machado Ferreira

Inácio de Sousa Adelino da Fonseca

Instituto Superior de Engenharia Coimbra

Supervisor na Empresa

Carlos Manuel Alves da Silva

MDA, Moldes de Azeméis, SA

Coimbra, abril, 2016

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Inácio de Sousa Adelino da Fonseca e ao Professor Doutor Carlos Manuel Borralho Machado Ferreira por toda a disponibilidade prestada durante a realização do estágio, pela orientação e apoio, bem como pela oportunidade de organizar o estágio na MDA, Moldes de Azeméis, SA.

Ao Engenheiro Carlos Manuel Alves da Silva, por todo o apoio dado e pelos ensinamentos que me transmitiu.

Ao Grupo Simoldes, pela excelente oportunidade da realização deste estágio neste grupo que é uma referência nível mundial.

A toda minha família, em especial à minha Mãe e ao meu Irmão, pelo apoio e orgulho demonstrado durante todo o meu percurso académico.

A todos os que contribuíram de alguma forma para a pessoa que sou hoje, em especial a Emília Paiva, Adérito Francisco e Arlindo Francisco.

A Cátia Freitas por todo o apoio demonstrado ao longo deste percurso.

A todas as pessoas do Grupo Simoldes, principalmente a todos os que estão na equipa de métodos & processos e investigação & desenvolvimento pela boa integração e apoio demonstrado. Também à equipa de manutenção da Simoldes Aços o meu obrigado. Um agradecimento especial à equipa que esteve diretamente ligada a este projeto em particular ao Mickaël Pinto Oliveira pelo seu companheirismo, dedicação e profissionalismo ao longo do desenvolvimento deste projeto.

Aos meus amigos e colegas da faculdade por todo o espírito de entre ajuda e por todos os bons momentos vividos.

Agradeço a todos os que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

Perante o desenvolvimento cada vez mais acelerado que presenciamos no mundo atual, a qualidade dos produtos finais e o cumprimento de prazos para o cliente são fatores decisivos para a indústria global. Neste sentido a utilização eficiente dos recursos de uma empresa são posições que cada vez mais se manifestam como a chave para o desenvolvimento.

A empresa Simoldes Aços, pertencente ao Grupo Simoldes, onde se realizou o estágio, é uma empresa dedicada à produção de moldes para a injeção de termoplástico. O rápido crescimento da empresa, verificado ao longo destes 50 anos de existência obriga a uma melhoria contínua no sentido de diminuir custos operacionais e ao aumento de rentabilidade. O objetivo do projeto, associado ao estágio, é o aumento da rentabilidade de máquinas CNCs. Com este intuito um sistema automático de monitorização de máquinas CNCs foi desenvolvido no decorrer do estágio. O sistema de monitorização permite saber em qualquer altura, o estado em que as máquinas se encontram (a trabalhar, em preparação de trabalho ou paradas). Previamente ao desenvolvimento desta tecnologia era impossível saber ou registar o estado das máquinas com mais idade na empresa. Assim o operador da máquina tinha a responsabilidade de registar de forma manual os diferentes estados e respetivos tempos. Atualmente consegue-se registar de forma automática os intervalos de operação entre diferentes estados.

O desenrolar deste projeto é caracterizado por três fases distintas.

A primeira fase correspondeu à pesquisa e análise pormenorizada de sinais disponíveis nas diferentes máquinas, nas quais se pretendia aplicar o sistema de monitorização.

Na segunda fase procedeu-se a elaboração de *hardware* e *software* para a plataforma de controlo, a qual permite identificar os diferentes estados das máquinas.

A terceira fase caracteriza-se pelo desenvolvimento de aplicações que permitem a visualização da informação recolhida pelo sistema de monitorização.

Os resultados obtidos através desta tecnologia durante e após a conclusão do estágio na empresa, são elucidativos do quanto esta é imprescindível para uma melhor gestão e conhecimento do processo de fabrico. O projeto encontra-se em fase de expansão, tendo sido integrado nos planos de construção de uma nova unidade fabril do Grupo Simoldes.

Palavras-Chave: Monitorização, Máquinas, CNC, *Tracker*, Arduíno, Estados, Automática, Rede, OEE.

ABSTRACT

Given the increasingly accelerated development we are witnessing in the world today, the quality of the final products and compliance with deadlines for the customer are decisive factors in an industry. In this regard the use of resources of a company are positions that increasingly manifest as the key to development.

The company Simoldes Aços belonging to Simoldes Group, where the internship took place, is a company dedicated to the production of molds for thermoplastic injection. The fast growth of the company, that occurred during these 50 years of existence requires a continuous improvement in order to reduce operating costs and increase profitability. The goal of the project associated with the internship, is to increase the profitability of CNC machines. Therefore an automatic CNC machines monitoring system was developed during the internship. This monitoring system allows to know at any time, the status in which the machines are (working, in preparation for work or stopped). Before the development of this technology it was impossible to know or register the status of the older machines in the company. Therefore the machine operator had the responsibility to register manually the different times of each status. Currently it is possible to register automatically the operating intervals between different statuses. The development of this Project is characterized by different phases.

The first phase corresponded to research and detailed analysis of available signals for the different machines on which it was intended to apply the monitoring system.

The second phase consisted in developing hardware and software for the control platform, which identifies the different status of the machines.

In a third phase were developed applications to allow the visualization of information.

The results obtained about this technology, during and after the conclusion of the internship at the Company, are elucidative of how it is essential for better management and knowledge of the manufacturing process. The project finds itself in an expansion phase, being integrated into plans to build a new plant of Simoldes Group.

Keywords: Monitoring, CNC, Machines, Tracker, Arduino, Status, Automatic, Network, OEE.

Índice

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABELAS	xvii
SIMBOLOGIA	xix
ABREVIATURAS	xxi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Empresa de Acolhimento	1
1.3. O Projeto	2
1.4. Objetivos Gerais	4
1.5. Metodologia	5
1.6. Estrutura do Relatório	6
2. A EMPRESA	7
2.1. Grupo Simoldes	7
2.2. Organização	9
2.3. Simoldes Aços, SA	10
2.4. Processo Produtivo da Empresa	11
2.5. <i>Layout</i> da Empresa	12
3. ESTADO DE ARTE	15
3.1. Caracterização dos meios / equipamentos	15
3.1.1. Características	15
3.1.2. Comandos	16
3.1.3. Registos Efetuados	16
3.1.3.1. Documental	16
3.1.3.2. Informático	16
3.1.3.3. Observações	17
3.2. Tecnologia Antecessora	17
3.2.1. Observação “ <i>OneShot</i> ”	17
3.2.2. <i>Software</i> e <i>Hardware</i> em Testes	20
3.2.3. Tracker PLC	20
4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO TRACKER	23
4.1. Projeto Tracker	23
4.1.1. Descrição	23

4.1.2. Objetivos.....	23
4.2. Caracterização das Máquinas.....	23
4.2.1. Rambdaudi 800 (CNC).....	25
4.2.2. Rambdaudi 800 (CNW).....	25
4.3. Caracterização dos estados.....	26
4.3.1. Maquinação.....	26
4.3.2. Setup.....	26
4.3.3. Paragem.....	27
4.3.4. Emergência.....	27
4.3.5. Troca <i>Tool</i> / Troca Ferramenta.....	27
4.3.6. Transportador ON/OFF.....	27
4.3.7. Extra curso.....	28
4.4. Validação da sequência temporal dos estados.....	28
4.5. Tecnologia do Projeto.....	30
4.5.1. Microcontrolador Programável Arduino.....	30
4.5.2. <i>Hardware</i>	31
4.5.2.1. Arduino Uno.....	31
4.5.2.2. Arduino Mega 2560.....	32
4.5.2.3. Arduino <i>Ethernet Shield 2</i>	33
4.5.3. <i>Software</i>	34
4.6. Projeto Tracker - Dados da Máquina.....	35
4.6.1. Módulos X Y Z.....	36
4.6.2. Circuito de Adaptação da Máquina ao Arduino.....	39
4.6.2.1. Plataforma de Controlo - Ampops Configuração Inversor.....	40
4.6.2.2. Observações.....	62
4.6.3. Circuito Final.....	63
5. IMPLEMENTAÇÃO NA MÁQUINA DO CIRCUITO FINAL.....	69
5.1. Circuito Implementado - Ampops na configuração inversor com sinais de relés.....	69
5.1.1. Componentes.....	69
5.1.2. Configuração Utilizada.....	71
5.2. Comportamento Expectável.....	72
5.3. Realidade Implementada.....	73
5.3.1. Circuito Final “ <i>Breadboard</i> ”.....	73
5.3.2. Circuito Final PCB.....	75
5.4. Verificação/Comprovação de Estados das Máquinas.....	79
5.5. Resultados Obtidos.....	80

6. TRATAMENTO DE DADOS E TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO	81
6.1. Programação Desenvolvida	81
6.2. Configurações Informáticas	83
6.3. Softwares Utilizados	84
6.3.1. App "SNSD" (<i>Searching Network Saving Data</i>)	84
6.3.2. Base de Dados – MICROSOFT SQL SERVER MANAGEMENT STUDIO	85
6.3.3. Visual Studio 2013 Professional (Linguagem VB.NET)	86
6.4. Visualização da Informação Recolhida	87
6.4.1. Aplicação 1 – Raw Information (CMD)	87
6.4.2. Aplicação 2 – Excel - Base de Dados	87
6.4.3. Aplicação 3 – Informação Gráfica	89
6.4.3.1. Temporal	89
6.4.3.2. Analise a Diferentes Espectros Temporais	90
6.5. Hardware	91
6.5.1. Computador "Base" / "Servidor"	91
7. ANÁLISE DE FINANCEIRA	93
7.1. Custos Por Máquina CNC	93
7.2. Comparação de Custos de Projeto Atual com Antecessores	95
8. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS DO PROJETO PARA O FUTURO	97
9. ANEXOS	99
9.1. Projeto Tracker – Sensores	99
9.1.1. Acelerómetro / Magnetómetro	99
9.1.2. Observações	102
9.2. Circuitos Pré Final	103
9.3. Esquemas / Datasheet	104
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Símbolo Tracker.	2
Figura 1.2 - 4 Fases do Projeto Tracker.	3
Figura 1.3 - Tracker desenvolvido por EP.	3
Figura 1.4 - Melhorias de OEE.	4
Figura 1.5 - Metodologia aplicada no projeto.	5
Figura 2.1 - Grupo Simoldes.	7
Figura 2.2 - Diferentes empresas do Grupo Simoldes em Oliveira de Azeméis.	7
Figura 2.3 - António Costa e Pedro Passos Coelho em visita ao Grupo Simoldes.	8
Figura 2.4 - Garrafa de gás Pluma.	8
Figura 2.5 - Diferentes logótipos das empresas da divisão de moldes.	9
Figura 2.6 - Diferentes logótipos das empresas da divisão de plásticos.	9
Figura 2.7 - Diferentes instalações da empresa Simoldes Aços.	10
Figura 2.8 - Instalações fabris da Simoldes Aços em 1974.	10
Figura 2.9 - Instalações fabris da Simoldes Aços atualmente.	10
Figura 2.10 - <i>Layout</i> da Simoldes Aços.	13
Figura 3.1 - Blocos de aço para posterior maquinaria.	15
Figura 3.2 - Dados recolhidos durante o estágio.	18
Figura 3.3 - Ativação e paragem de maquinaria.	19
Figura 3.4 - Representação gráfica de ativação e paragem de maquinaria.	19
Figura 3.5 - Informação apresentado por <i>software</i> em teste.	20
Figura 3.6 - Autómato industrial, Micrologix 1100.	20
Figura 4.1 - Logótipo da RAMBAUDI.	23
Figura 4.2 - Vista frontal de máquina CNC.	24
Figura 4.3 - Vista de topo de máquina CNC.	24
Figura 4.4 - Máquina CNC e localização no layout da empresa.	25
Figura 4.5 - Máquina CNW.	25
Figura 4.6 - Verificação estado atual – em cima estado de memória, em baixo estado medido.	28
Figura 4.7 - Alteração do estado parado para maquinaria – em cima estado de memória, em baixo estado medido.	29
Figura 4.8 - Verificação estado atual – em cima estado de memória, em baixo estado medido.	29
Figura 4.9 - Alteração do estado maquinaria para parado – em cima estado de memória, em baixo estado medido.	30
Figura 4.10 - Arduíno Uno.	31
Figura 4.11 - Arduíno Mega.	32
Figura 4.12 - Arduíno <i>Ethernet Shield 2</i>	33
Figura 4.13 - <i>Software open-source</i> para programação do Arduíno (IDE).	35
Figura 4.14 - Estrutura de programação do <i>software</i> IDE.	35
Figura 4.15 - Módulos SIMODRIVE 611.	36
Figura 4.16 - Módulo de acionamento Siemens do eixo X,Y,Z.	37
Figura 4.17 - Esquemático de conector da placa “ARTW1” CNC FIDIA.	38
Figura 4.18 – Saídas (-10 Vd.c. a 10 Vd.c.) dos acionamentos (eixo X,Y,Z).	39
Figura 4.19 - Transformador usado no circuito 3.	40
Figura 4.20 - Aspeto real do amplificador operacional uA741.	41
Figura 4.21 - Configuração de pinos do uA741.	41
Figura 4.22 - Circuito final – plataforma de controlo.	43
Figura 4.23 - Circuito ideal do amp. inversor.	43
Figura 4.24 - Circuito equivalente ideal do amp. inversor.	43

Figura 4.25 - Sensor de temperatura LM35.	44
Figura 4.26 - Circuito equivalente do ampop.	44
Figura 4.27 - Circuito equivalente ao implementado – Considerando-se alimentação simétrica.	45
Figura 4.28 - Circuito implementado em laboratório.	46
Figura 4.29 - Função de Transferência.	47
Figura 4.30 - Formas de onda da entrada/saída.	47
Figura 4.31 - Formas de onda da entrada/saída.	47
Figura 4.32 - $V_{in}=800\mu V \approx 0 V$	48
Figura 4.33 - $V_{in}=1.01 V_{d.c.}$	48
Figura 4.34 - $V_{in}=1.61 V_{d.c.}$	48
Figura 4.35 - $V_{in}=1.90 V_{d.c.}$	49
Figura 4.36 - $V_{in}=10.0 V_{d.c.}$	49
Figura 4.37 - $V_{in}=-604 mV$	49
Figura 4.38 - $V_{in}=-2.59 V_{d.c.}$	50
Figura 4.39 - $V_{in}=-7.50 V_{d.c.}$	50
Figura 4.40 - $V_{in}=-10.0 V_{d.c.}$	50
Figura 4.41 - Função de Transferência.	52
Figura 4.42 - Função de Transferência Ganho=1 Declive=-0.96.	53
Figura 4.43 - Função de Transferência.	54
Figura 4.44 - Formas de onda da entrada/saída.	54
Figura 4.45 - Formas de onda da entrada/saída.	55
Figura 4.46 - $V_{in}=-57.9 mV \approx 0 V$	55
Figura 4.47 - $V_{in}=1.0 V_{d.c.}$	55
Figura 4.48 - $V_{in}=1.50 V_{d.c.}$	56
Figura 4.49 - $V_{in}=1.85 V_{d.c.}$	56
Figura 4.50 - $V_{in}=2.00 V_{d.c.}$	56
Figura 4.51 - $V_{in}=2.50 V_{d.c.}$	57
Figura 4.52 - $V_{in}=10.0 V_{d.c.}$	57
Figura 4.53 - $V_{in}=-1.00 V_{dc}$	57
Figura 4.54 - $V_{in}=-1.85 V_{d.c.}$	58
Figura 4.55 - $V_{in}=-2.51 V_{d.c.}$	58
Figura 4.56 - $V_{in}=-3.50 V_{d.c.}$	58
Figura 4.57 - $V_{in}=-5.00 V_{d.c.}$	59
Figura 4.58 - $V_{in}=-10.0 V_{d.c.}$	59
Figura 4.59 - Função de Transferência $G=0.5$	60
Figura 4.60 - Função de Transferência Ganho=0.5 Declive=-0.48.	61
Figura 4.61 - Relé de atuação.	63
Figura 4.62 - Divisor de tensão.	66
Figura 4.63 - Circuito final implementado.	67
Figura 5.1 - Aspeto real do circuito final já implementado.	69
Figura 5.2 - Configuração amplificador inversor.	71
Figura 5.3 - Configuração divisor e regulador de tesnsão.	71
Figura 5.4 - Interligação da máquina CNC com a plataforma Arduino.	72
Figura 5.5 - Circuito final implementado na máquina.	73
Figura 5.6 - Alimentação de circuito final.	74
Figura 5.7 - Cabalagem para interligação de diferentes componetes.	74
Figura 5.8 - Switch SKY LINK.	75
Figura 5.9 - Circuito da Figura 4.22, isntalado em PCB.	76

Figura 5.10 - Esquemático do circuito final.....	76
Figura 5.11 - Visão geral do projeto Tracker.	77
Figura 5.12 - Sinalizador luminoso instalado.....	79
Figura 6.1 - Fluxograma correspondente a programação do Arduino.....	82
Figura 6.2 - App “SNSD” com informação rececionada.	84
Figura 6.3 - Informação guardada na base de dados.	85
Figura 6.4 - Representação gráfica das diferentes séries.....	86
Figura 6.5 - Informação em atualização na app “SNSD”.....	87
Figura 6.6 - Folha de rosto da aplicação 2.	88
Figura 6.7 - Folha de seleção dos estados da máquina selecionada.	88
Figura 6.8 - Registos provenientes da seleção de uma máquina sem ordenação do estado.	88
Figura 6.9 - Apresentação gráfica temporal de informação.	89
Figura 6.10 - Exibição gráfica de informação na segunda versão da terceira aplicação.	90
Figura 6.11 - Exposição gráfica de informação resultante das condições selecionadas.....	90
Figura 6.12 - Computador base selecionado para a app “SNSD”.	91
Figura 7.1 - Arduino Mega.....	93
Figura 7.2 - Arduino <i>Ethernet Shield</i> 2.	93
Figura 7.3 - Transf. 220Va.c.–12 Vd.c.....	93
Figura 7.4 - Reguladores L7805.....	93
Figura 7.5 - Ampops uA741.....	93
Figura 7.6 - Resistência utilizadas.....	93
Figura 7.7 - Sensor temperatura.	94
Figura 7.8 - Cablagem de interligação.	94
Figura 7.9 - <i>Switch</i> de oito conceções de rede utilizado.	94
Figura 9. 1 - Acelerómetro MMA7361L.....	99
Figura 9.2 - Local onde foi instalado o acelerómetro na máquina.	100
Figura 9.3 - Magnetómetro LSM303D	101
Figura 9.4 - Local onde foi instalado o magnetómetro na máquina.	101
Figura 9. 5 - Consola de visualização (serial monitor) Android.	102
Figura 9. 6 - Módulo de acionamento do eixo X - SIEMENS.	104
Figura 9. 7 - Módulo de acionamento do eixo Y - SIEMENS.	105
Figura 9. 8 - Módulo de acionamento do eixo Z - SIEMENS.....	106

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comandos presentes na empresa Simoldes Aços.....	16
Tabela 2 - Especificações técnicas do Arduino Uno.....	32
Tabela 3 - Especificações técnicas do Arduino Mega 2560.....	33
Tabela 4 - Especificações técnicas do Arduino <i>Ethernet Shield 2</i>	34
Tabela 5 - Combinação de leds para transmitir informação.....	34
Tabela 6 - Informação da placa “ARTW1” CNC FIDIA.....	37
Tabela 7 - Características técnicas do transformador utilizado no circuito final.....	40
Tabela 8 - Características técnicas do amplificador operacional uA741.....	41
Tabela 9 - Tensão de Vout em função de Vin ($G=1$).....	51
Tabela 10 - Tensão de VoutA0 em função de Vin ($G=1$).....	51
Tabela 11 - Tensão de Vout em função de Vin ($G=0.5$).....	59
Tabela 12 - Tensão de XoutA0 em função de Vin ($G=0.5$).....	60
Tabela 13 - Características dos relés presentes nas máquinas.....	64
Tabela 14 - Descrição de sinais, porto associados, gamas de tensões e componentes.....	67
Tabela 15 - Descrição de sinais, portos associados, gamas de tensões, componentes e sinalizadores lumino	78
Tabela 16 - Descrição/função de cor ativada.....	79
Tabela 17 - Colunas da base de dados onde a informação é guardada.....	85
Tabela 18 - Custo em € por componente utilizado.....	94
Tabela 19 - Características do sensor MMA7361L.....	100
Tabela 20- Características do sensor LSM303D.....	101

SIMBOLOGIA

A – Ampere

g – Grama

mm – Milímetros

mS – Milissegundos

mV/g – Milivolts por Grama

MHz – Megahertz

Kbytes – Kilobytes

K Ω – KiloOhm

VA – Volt-Ampere

°C – Graus Célicos

μ V – Microvolts

Ω – Ohm

ABREVIATURAS

AC – Alternate Current

ACS – Advanced Customer Services

CAD – Computer-Aided Design

CAM – Computer Aided Manufacturing

CNC – Computer Numerical Control

DC – Direct Current

DHCP –Dynamic Host Configuration Protocol

DNS – Domain Name System

FDX – Full Duplex

GND – Ground

GS – Grupo Simoldes

IDE – Integrated Development Environment

ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

ISO – International Organization for Standardization

LED – Light Emitting Diode

OEE – Overall Equipment Effectiveness

PC –Personal Computer

PCB –Printed Circuit Board

POE – Power Over Ethernet

PWM – Pulse-Width Modulation

Rx – Recive

SNSD – Searching Network Saving Data

SQL –Structured Query Language

SSID –Service Set Identifier

TCP – Transmission Control Protocol

Tx – Trasmit

USB – Universal Serial Bus

UDP – User Datagram Protocol

WEB – World Wide Web

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O projeto enquadra-se no âmbito da unidade curricular do estágio de final de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, apresentando como objetivo a criação de ferramentas e controlo de recursos para a execução de *overall equipment effectiveness* em processos industriais.

As extremas e atuais economias mundiais, obrigam as empresas a focarem-se na necessidade constante de redução dos desperdícios. Desperdícios que assumem diferentes formas: matéria-prima, tempo de execução de trabalho, recursos humanos, entre outros. O setor automóvel, por si já competitivo, obriga as empresas dentro deste a rejuvenescerem-se e a uma inovação constante. Esta inovação, técnica e de gestão, vai ao encontro das exigências dos clientes do Grupo Simoldes, permitindo a este o seu elevado reconhecimento mundial.

A rentabilização dos meios disponíveis, com vista ao aumento de produção, o aperfeiçoamento do processo produtivo e a excelência da qualidade dos produtos finais com recursos já existentes, correspondem às diretrizes do trabalho para este estágio. Com estas permite-se o aumento da satisfação do cliente bem como o lucro final do Grupo Simoldes.

1.2. Empresa de Acolhimento

Simoldes Aços, empresa mais antiga do Grupo Simoldes, foi onde se realizou o estágio final de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica. A empresa Simoldes Aços, liderada por António da Silva Rodrigues na cidade de Oliveira de Azeméis, nas origens da sua atividade dedicou-se à produção de moldes para fabrico de pequenos e médios utensílios. As décadas de 60 e 70 foram relevantes no seu crescimento. Foi nestas que a empresa conseguiu diversificar os seus clientes e mercado alvo. Nestas décadas foram também realizados investimentos em instalações, equipamentos e mão-de-obra especializada, permitindo que a empresa se consolidasse até ao presente. A mudança principal e mais importante da empresa foi a aposta do trabalho direcionada ao setor da indústria automóvel. Nos dias de hoje, ainda é o principal cliente e consecutivamente o principal responsável pelas receitas da empresa.

O Grupo Simoldes está dividido em duas partes. A divisão de moldes, na qual se insere a empresa onde foi realizado o estágio (Simoldes Aços) e a divisão de plásticos. A divisão de moldes do grupo é identificada atualmente como o maior fabricante europeu de moldes, apresentando com clientes empresas como: Renault, Saab, Citroën, VW, Seat, Ford, Peugeot, Honda, Volvo, Audi, BMW, Mercedes, Porsche, entre outras.

A certificação de qualidade que a empresa possui são as certificações do modelo geral de gestão de qualidade, estando implantadas a ISO 9001:2008 em 29-12-1995, e ISO/TS 16949:2002 (normas de qualidade específicas para a indústria automóvel).

1.3. O Projeto

Proposto pelo Grupo Simoldes e desenvolvido na empresa mãe, Simoldes Aços, o projeto tem como objetivo a melhoria do processo de fresagem em CNCs, de forma a aumentar a sua capacidade de produção. O projeto piloto designado de Tracker, tem como foco o controlo do processo de fresagem de CNCs (parâmetros reais), através da criação de ferramentas com recurso a meios tecnológicos. Estas ferramentas permitem à posterior a execução do cálculo de OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) em processos industriais. O símbolo adotado pelo Grupo Simoldes correspondente ao projeto piloto Tracker é visível na figura 1.1.



Figura 1.1 - Símbolo Tracker.

No processo produtivo de um molde, o setor de fresagem CNCs assume um papel decisivo. A falta de informação relativamente aos parâmetros reais de maquinaria acarreta uma dificuldade acrescida para o planeamento da carga de trabalho. O setor de fresagem deve ser estudado e analisado de forma a se avaliar os métodos de trabalho atuais para posteriormente proceder-se a melhorias.

A necessidade de uma equipa de métodos & processos e investigação & desenvolvimento, abrangentes às diferentes unidades fabris do Grupo Simoldes, é imprescindível na realidade económica social atual. A equipa de métodos & processos e investigação & desenvolvimento é constituída por colaboradores com qualificações no ensino superior, abrangendo as principais áreas de engenharia, tais como: Engenharia Eletrotécnica, Mecânica, Eletromecânica, Informática, Civil, Gestão Industrial, entre outras.

O projeto Tracker, entregue à equipa de métodos & processos do Grupo Simoldes, foi orientado e tratado por esta equipa. O estágio, ao qual o presente relatório se refere, foi inserido nesta equipa e completamente direcionado para o projeto Tracker.

Devido à distinta qualificação desta equipa o projeto foi elaborado pela minha pessoa, em conjunto com membros da equipa de métodos & processos.

O estágio realizado e consequentemente o projeto Tracker executado na empresa Simoldes Aços, teve 4 fases principais contendo dentro destas subfases. Numa primeira fase foi realizado o levantamento e análise de dados, seguindo-se a segunda fase: definição de objetivos a atingir. A terceira fase correspondeu à procura de soluções para a recolha e tratamento de dados e por fim (4ª fase) o envio da informação, correspondente ao estado da máquina, para a rede interna da empresa. A figura 1.2, exibe as 4 fases do projeto Tracker, desenvolvidas durante o estágio na empresa Simoldes Aços.

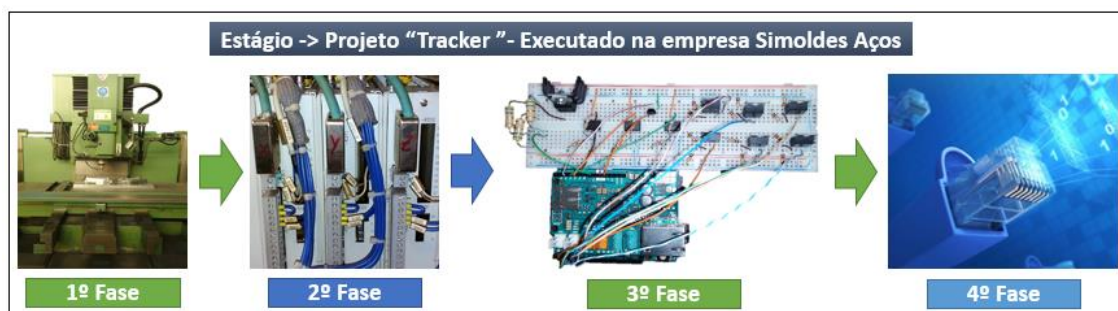


Figura 1.2 - 4 Fases do Projeto Tracker.

Após o envio de informação para a rede interna da unidade fabril, e ainda durante a realização do estágio, foi desenvolvido por um membro da equipa com formação superior em engenharia informática um *software* para a receção/visualização de informação, bem como a respetiva base de dados para guardar a informação. Foram também desenvolvidos dois *softwares* de visualização de informação, possuindo um deles capacidade para alteração da escala temporal abrangente. Os *softwares* desenvolvidos tiveram pequenas indicações da minha pessoa, para que em ambas as programações fossem realizados ajustes. Devido a esta colaboração, a apresentação gráfica é precisa e de fácil interpretação. Na figura 1.3 é observável a parte correspondente do projeto Tracker desenvolvida pela equipa de processos.



Figura 1.3 - Tracker desenvolvido por EP.

As informações guardadas na base de dados, relativas aos estados das máquinas CNCs, serão utilizadas para o cálculo de *overall equipment effectiveness* em processos industriais.

Na figura 1.4, são apresentadas as melhorias resultantes do cálculo de OEE.



Figura 1.4 - Melhorias de OEE.

É possível verificar que as melhorias resultantes do cálculo de OEE são abrangentes a inúmeras áreas. Destas melhorias salientam-se a notória melhoria na rapidez de execução dum processo já existente, a qualidade do produto final e maximização do tempo de operação e produtividade.

1.4. Objetivos Gerais

A rentabilidade de fresadoras CNCs no processo de fabrico atual da empresa Simoldes Aços é uma componente importantíssima. Um aumento de capacidade de produção destas fresadoras CNCs, traduz-se em ganhos muito significativos. O projeto Tracker tem como objetivos principais a aquisição dos parâmetros reais de maquinação e o seu envio para a rede interna da unidade fabril para serem guardados numa base de dados. A quando do início do estágio a informação que existia acerca do processo de fresagem era resultante de apontamentos realizados manualmente por parte dos operadores e a informação que se conseguia extrair das máquinas era mínima. Para além de a empresa ficar com histórico de ocupação/trabalho das fresadoras CNCs pode saber-se em tempo real o comportamento das diferentes máquinas CNCs (estado em que se encontram). Ou seja, se estão a trabalhar (correspondente ao estado de maquinação), em preparação de trabalho/ferreamente (estado *Setup*) ou paradas. A informação guardada é tratada à posterior por *software* para resultados estatísticos com recurso a visualização gráfica. Com vista a que os objetivos descritos fossem atingidos, a investigação dos sinais elétricos disponíveis no quadro da máquina, bem como os seus comandos foi imprescindível.

O projeto tem como objetivos principais os seguintes tópicos:

- Levantamento e análise de dados;
- Investigação de máquinas e respetivos comandos;
- Caracterização dos diferentes estados das máquinas;
- Elaboração de *hardware*;
- Programação dum módulo Arduino.

Tem ainda como objetivos comuns à estratégia da unidade fabril Simoldes Aços os seguintes:

- Redução dos prazos de entrega do produto finalizado ao cliente;
- Melhoria do processo produtivo nas máquinas CNCs;
- Aumento da produtividade em todos os setores;
- Redução de desperdícios.

1.5. Metodologia

A metodologia de trabalho aplicada neste projeto envolve as seguintes etapas:

1. Levantamento de dados para o projeto Tracker;
2. Análise detalhada dos equipamentos da empresa;
3. Definição de objetivos a atingir com o projeto;
4. Procura de soluções para o projeto Tracker;
5. Implementação da solução encontrada;
6. Período de observação e implementação de melhorias.

O levantamento de dados foi realizado através da consulta de ficheiros, análise de processos anteriores, e a envolvimento nas atividades da empresa. A análise dos dados foi realizada exaustivamente para que às necessidades do projeto ficassem bem definidas. A definição dos objetivos a atingir, vai de encontro com as necessidades da empresa para este projeto. A procura de soluções caracteriza-se pela resolução da fase anterior. Na quinta fase onde ocorre a implementação da solução final tendo sempre os critérios de segurança e qualidade da unidade fabril como regra principal e ponto de partida.

Por fim, o período de observação e implementação de melhorias tem uma responsabilidade acrescida. Esta responsabilidade é devida ao cálculo de *overall equipment effectiveness*, que tem como base fundamental a informação resultante deste projeto. As etapas que caracterizam a metodologia aplicada neste projeto são visíveis na figura 1.5.

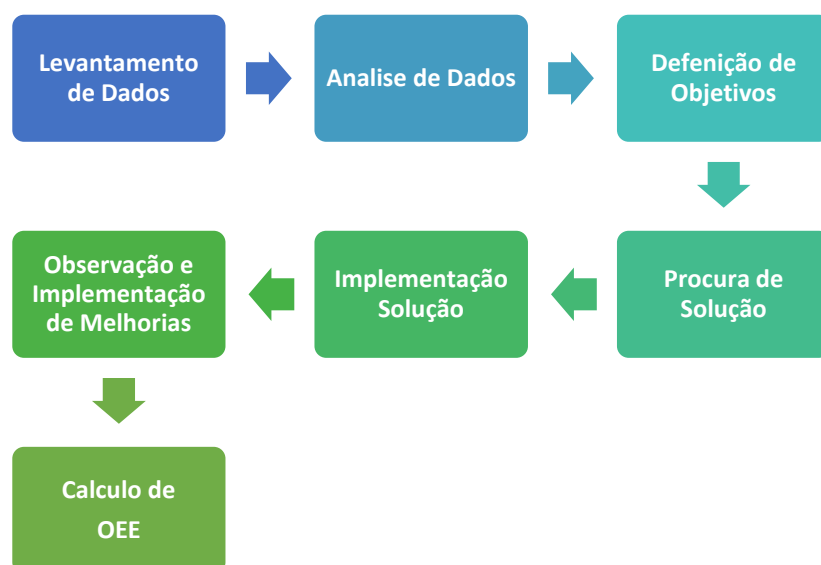


Figura 1.5 - Metodologia aplicada no projeto.

1.6. Estrutura do Relatório

O presente relatório está repartido em nove capítulos com vários pontos dentro destes. No primeiro capítulo deste relatório faz-se uma introdução ao projeto desenvolvido na empresa, bem como, os seus objetivos gerais, a metodologia de trabalho adotada e a estrutura do relatório. No segundo capítulo é apresentada a unidade fabril Simoldes Aços onde se realizou o estágio (unidade fabril que faz parte do Grupo Simoldes). A organização do Grupo Simoldes, o processo produtivo da empresa Simoldes Aços e o seu *layout*, são também referenciados neste. No capítulo três é abordado o estado de arte do projeto. Este envolve vários temas, desde caracterização dos meios até às tecnologias antecessoras.

O capítulo quatro descreve a principal parte do projeto realizado durante o estágio. Neste são abordadas as máquinas utilizadas, as tecnologias de controlo, a caracterização de estados das máquinas, escolha de componentes e montagem de diferentes circuitos eletrónicos bem como a solução “ótima”.

O capítulo cinco diz respeito à solução final. Neste capítulo é apresentado o circuito final implementado, onde são descritos componentes, configurações utilizadas, comportamentos exetáveis, realidades implementadas e resultados obtidos acerca do circuito.

No capítulo seis apresenta-se a lógica de programação desenvolvida para o tratamento de dados, a forma de comunicação de informação para a base de dados, e as tecnologias/procedimentos que foram desenvolvidos para a visualização de informação.

A análise financeira, onde os custos de implementação do projeto desenvolvido por máquina são apresentados, juntamente com a comparação de custos de projeto atual com anteriores, formam o capítulo sete. O capítulo oito apresenta as conclusões e perspetivas do projeto para o futuro.

O capítulo oito apresenta as conclusões e perspetivas do projeto para o futuro.

O capítulo nove corresponde aos anexos do documento. Neste são apresentadas as diferentes soluções desenvolvidos até a solução final e esquemas das máquinas CNC.

2. A EMPRESA

2.1. Grupo Simoldes

Fundado em 1959 e desde 1981 liderado por António da Silva Rodrigues, o Grupo Simoldes é constituído por 20 empresas espalhadas pelo mundo e 8 gabinetes comerciais. O seu modelo de negócio baseia-se em duas áreas distintas. O fabrico de moldes e a injeção de termoplástico.

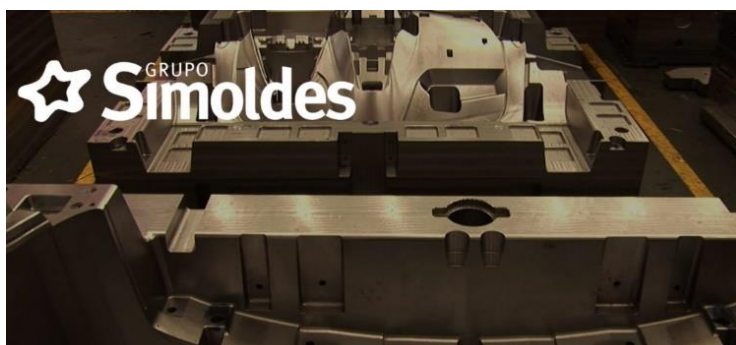


Figura 2.1 - Grupo Simoldes. [3]

A primeira área, dedicada à construção de moldes para injeção de termoplástico é composta por dez empresas, das quais seis localizam-se no concelho de Oliveira de Azeméis, estando as restantes espalhadas pelo mundo. A segunda área de negócio é constituída por onze empresas produtoras de peças de plástico resultante da injeção de termoplástico.

Em Portugal estão localizadas dez empresas visíveis na figura 2.2. Do total das empresas fazem parte empresas de suporte técnico e comerciais (*Advanced Customer Services* ou ACS) espalhadas também pelo mundo. Com meio século de presença na indústria portuguesa e mundial, este grupo tem contribuído de forma decisiva para o setor de fabrico de moldes e injeção de termoplástico. Com a globalização do seu mercado, este grupo transporta a imagem da indústria portuguesa para um nível internacional.

O espírito de inovação aliado ao investimento persistente em equipamentos e a participação em projetos exigentes, promoveu o desenvolvimento e expansão do Grupo Simoldes.



Figura 2.2 - Diferentes empresas do Grupo Simoldes em Oliveira de Azeméis. [26]

O Grupo Simoldes é o maior fabricante europeu de moldes para o setor automóvel. Em visita recente às instalações deste grupo (figura 2.3), António Costa e Pedro Passos Coelho já anteriormente, apontaram o grupo como um exemplo a seguir.



Figura 2.3 - António Costa e Pedro Passos Coelho em visita ao Grupo Simoldes. [33;34]

No ano de 1980 foi inaugurada a primeira unidade dedicada exclusivamente à injeção de termoplástico. Foi nesta unidade fabril, Simoldes Plásticos, onde foi desenvolvida a primeira garrafa de gás que utiliza a tecnologia Comet, a qual ficou amplamente conhecida por Pluma (figura 2.4), sendo mais tarde comercializada pela Galp.



Figura 2.4 - Garrafa de gás Pluma. [32]

Os principais clientes do Grupo Simoldes são países da Europa tal como França, Alemanha, Espanha, Escandinávia e Reino Unido mas também a América do Sul e do Norte. A produção do grupo é absorvida na sua quase totalidade pelo setor automóvel.

O Grupo Simoldes caracteriza-se pela sua capacidade de desenvolver qualquer tipo de projeto para peças plásticas, sendo especializado na produção de moldes para a indústria do setor automóvel. Também para outros setores como embalagens, jardim e eletrodomésticos o grupo tem uma posição relevante na indústria mundial.

O Grupo Simoldes caracteriza-se pelos seus 3704 funcionários distribuídos por diferentes unidades fabris em Portugal, Alemanha, Reino Unido e Brasil, bem como vários escritórios noutros pontos do mundo. O seu prestígio internacional no fabrico de moldes e capacidade de injeção de termoplástico são pontos que distinguem este grupo do resto do mundo.

2.2. Organização

O Grupo Simoldes está dividido em duas áreas distintas de indústria.
A primeira área, *Tool Division* corresponde à divisão de moldes (figura 2.5).



Figura 2.5 - Diferentes logótipos das empresas da divisão de moldes. [3]

Esta área de atividade tem como foco de indústria a produção de moldes sendo constituída por oito empresas de fabrico de moldes e *Advanced Customer Services* ou ACS.

A segunda área, *Plastic Division* corresponde à divisão de plásticos (figura 2.6).



Figura 2.6 - Diferentes logótipos das empresas da divisão de plásticos. [3]

Para além das anteriores fazem também parte da *Plastic Division* as seguintes empresas.

- ➔ Simoldes Plástico Indústria Simoldes Plástico Brasil Simoldes Plástico France
- ➔ Simoldes Plástico España Simoldes Plástico Polska
- ➔ Simoldes Plástico France *Engineering* Simoldes Plástico Deutschland *Engineering*

Estas empresas, pertencentes à divisão de plástico, são especializadas na produção de peças a partir da injeção de termoplástico.

Embora totalmente independentes as duas áreas de atividade complementam-se, formando um grupo coeso e reconhecido na indústria mundial.

2.3. Simoldes Aços, SA

Fundada em 1959 a Simoldes Aços teve sempre a expansão do negócio como um dos seus objetivos principais. Em 1968 concretiza a primeira exportação para Inglaterra, cidade de Londres. Devido ao espaço ocupado anteriormente já limitar a capacidade de trabalho, no lugar da Espinheira (centro de Oliveira de Azeméis), no início da década de 70 procedeu-se a construção de novas instalações para a Simoldes Aços. Na figura 2.7, são visíveis as instalações já ocupadas e as instalações atuais.



Figura 2.7 - Diferentes instalações da empresa Simoldes Aços. [3]

No dia 25 de Abril de 1974, inauguram-se oficialmente as novas instalações, localizadas na zona industrial de Oliveira de Azeméis. Para 70 colaboradores da empresa o 25 de Abril de 1974 não encantou tanto quanto as novas instalações que a Simoldes Aços passou a ocupar nesse dia. Na figura 2.8 são visíveis as instalações atuais ainda em construção.



Figura 2.8 - Instalações fabris da Simoldes Aços em 1974. [28]

António da Silva Rodrigues, presidente do Grupo Simoldes, refere que pela manhã do dia 24 de Abril de 1974, foi ligado o posto de transformação instalado na nova fábrica. A empresa encontra-se implantada numa área total de 15.521 m² de terreno, sendo desse total uma área coberta de 12.200 m², da qual 7.500 m² estão diretamente ligados ao setor produtivo. Na figura 2.9 são visíveis as instalações da empresa Simoldes Aços.



Figura 2.9 - Instalações fabris da Simoldes Aços atualmente.

Em Dezembro de 1995, a Simoldes Aços obtém a certificação do Sistema de Garantia de Qualidade segundo a norma NP EN ISO 9001. Entre 1976 e 1977 dá-se a grande ofensiva na procura de novos mercados com a participação em feiras de indústria. É nesta década que a Simoldes Aços começa a fabricar moldes para a indústria automóvel para países como França e Suécia e consecutivamente para clientes como a Renault e Volvo.

A título informativo cada molde que é construído tem aproximadamente 100 a 300 componentes. Estes componentes são essenciais a várias funções como o caso da gravação da peça polimérica, os mecanismos de extração do molde, a mecânica do molde, a refrigeração do molde, entre outros. Desde o dia 24 de Abril de 1974 verificou-se um constante crescimento da área coberta, através da criação de novas empresas, acompanhadas de uma contínua evolução de equipamentos. Esta expansão permite uma elevada capacidade de resposta para o fabrico de moldes e consequentemente o aperfeiçoamento do produto final.

Atualmente a Simoldes Aços tem 207 postos de trabalho e 98% da sua atividade é para o setor automóvel. Os principais clientes da empresa são países como a Alemanha com 35% da produção, seguindo-se a França com 25% e Espanha com 10%. Em 2013 o volume de negócios ronda os 20 milhões de euros na Simoldes Aços. O total de faturação das 27 empresas que hoje constituem o Grupo Simoldes, foi de 500 milhões de euros em 2013.

2.4. Processo Produtivo da Empresa

O processo produtivo da empresa Simoldes Aços está dividido em 4 fases distintas.

1. Fase: Orçamentação.

Depois da apresentação do desenho ou modelo tridimensional da peça que o cliente pretende, é elaborado um estudo preliminar de conceção e dos materiais necessários ao molde. Um cálculo das horas de trabalho necessárias em cada projeto também faz parte do estudo. Estes estudos permitem ao setor comercial o cálculo do orçamento para determinado molde que é posteriormente fornecido ao cliente.

2. Fase: Conceção e Desenvolvimento.

Perante uma encomenda confirmada pelo cliente, o departamento de estudos e desenvolvimento realiza um desenho preliminar do molde. Este desenho sofre de uma aprovação do cliente para comentários e por isso é enviado ao mesmo. Mediante aprovação do cliente, iniciasse quase paralelamente ao projeto a construção do molde. Posteriormente o departamento de engenharia de sistemas produz a definição matemática das zonas que definem as formas da peça, recorrendo para isso a *softwares* de CAD e CAM. Por fim são simulados os percursos de ferramentas que modelem o aço de acordo com as formas pretendidas pelo cliente.

3. Fase: Produção.

Após a realização do planeamento relativo ao processo produtivo, inicia-se a organização da matéria-prima necessária ao molde. Dá-se então início à maquinação das formas do molde através da gravação dos diferentes componentes (machos, cavidades, movimentos e posições). As máquinas usadas no processo de produção são fresadoras CNCs, tornos, mandriladoras e também máquinas de eletroerosão. Componentes do molde que não constituem zonas moldastes, tais como placas de extração, placas de encosto, calços, entre outras são produzidos. Após o fabrico individual e único de todos os componentes, transforma-se um aglomerado de componentes num molde. Esta fase é caracterizada por ser uma operação com uma vigorosa componente de trabalho humano. Os principais componentes/subsistemas criados/introduzidos são os seguintes:

- Extração;
- Refrigeração;
- Elétrico;
- Hidráulico.

Já numa fase de acabamento do produto final, executasse o polimento de espelho ou rugosidade das superfícies moldantes para obtenção do aspeto final das peças de plástico injetadas. Depois do acabamento, o molde é ensaiado em máquinas de injeção de plástico tendo como objetivo a verificação do bom funcionamento do molde e a aquisição de peças plásticas para a validação dimensional e aspeto estético. Já numa fase final e posterior ao ensaio, o molde aguarda o consentimento por parte do cliente ou o pedido de alterações com vista a corrigir imperfeições.

4. Fase: Expedição.

Esta última fase é caracterizada por um acondicionamento próprio em encaixotamento reforçado, posteriormente enviado para o cliente. Conforme o país a que se destina e a necessidade de prazos de entrega de produção, o molde segue o seu percurso por via terrestre, marítima ou aérea.

2.5. Layout da Empresa

O *layout* da empresa Simoldes Aços é visível na figura 2.10 (página seguinte). Nesta é possível verificar que a empresa é constituída por 4 naves de fabrico, e correspondentes áreas de escritórios. Os equipamentos de fabrico estão reunidos por gama tecnológica e por tipo de componentes que produzem. As 29 máquinas de fresagem CNC, assinaladas a azul claro, permitem perceber o tipo de indústria desta empresa. A organização da maquinaria da empresa nesta configuração permite um aumento de capacidade de trabalho bem como um bom planeamento de produção.

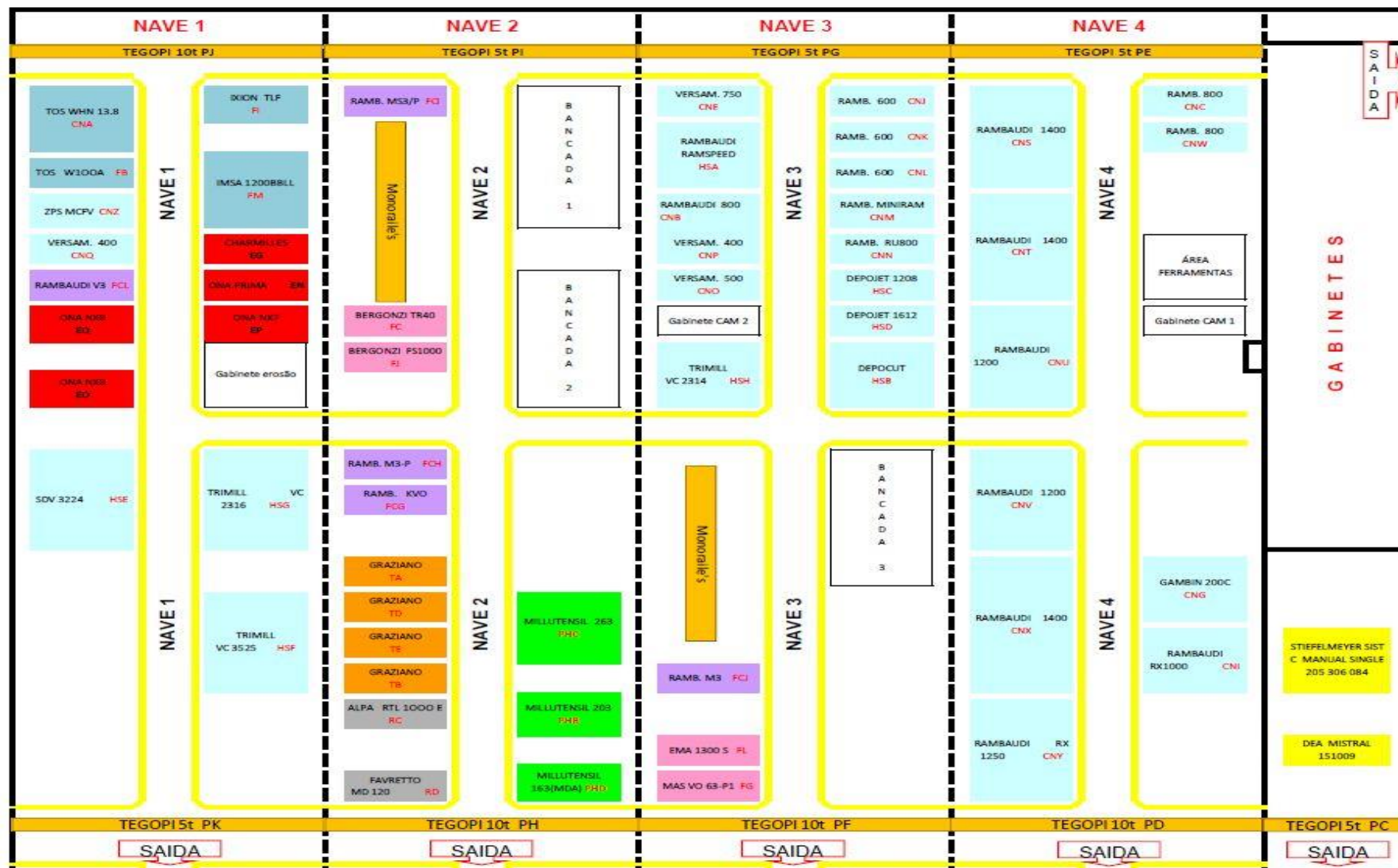


Figura 2.10 - Layout da Simoldes Aços.

3. ESTADO DE ARTE

3.1. Caracterização dos meios / equipamentos.

A empresa Simoldes Aços dedica-se à produção de moldes. Para este tipo de indústria a maquinaria mais utilizada são fresadoras CNCs. Estas máquinas são usadas para a maquinação de blocos de aço (figura 3.1), que após diferentes técnicas e trabalho dos colaboradores dão origem a moldes.



Figura 3.1 - Blocos de aço para posterior maquinação.

3.1.1. Características

Na empresa Simoldes Aços existem diferentes máquinas de fresagem CNC. Para a execução do trabalho os colaboradores inserem programas previamente elaborados nos controladores das máquinas através dos seus controlos. Os controlos da máquina juntamente com a programação desenvolvida são responsáveis por “guiar” a máquina durante os diferentes períodos de trabalho.

O *interface* entre homem e máquina é efetuado num computador presente na máquina que possui um *software* próprio.

Existem diferentes “tamanhos” e construtores de máquinas, estando entre as maiores as desenvolvidas pela construtora Rambaudi. Na Simoldes Aços existem os modelos 1400, 1200, 800, 600, RX da construtora Rambaudi. Exemplo de outros fabricantes de máquinas de fresagem CNC são Depojet, Depocut, Trimil e Versamatic que também se encontram na unidade fabril Simoldes Aços.

3.1.2. Comandos

Devido à quantidade de máquinas e modelos diferente os comandos utilizados para as controlar são vários. Este facto está diretamente relacionado com a idade da máquina. Quanto mais recente é a máquina, mais recente é o comando e vice-versa. Assim quanto mais antigo é o comando, mais difícil é extrair informação da máquina. Os diferentes comandos das fresadoras CNCs presentes na empresa Simoldes Aços são os presentes na tabela 1:

Antigos	Recentes
Fidia F1.	Fidia M1.
Heidenhain TNC 155.	Fidia CRX.
Heidenhain TNC 415.	Fidia C20.
Selca.	Heidenhain TNC 426.
	Heidenhain TNC 530.

Tabela 1 - Comandos presentes na empresa Simoldes Aços.

3.1.3. Registos Efetuados

Nesta secção, são apresentados os diferentes tipos de registos efetuados na empresa.

Os registos efetuadas anteriormente ao desenvolvimento deste projeto eram efetuados manualmente. Destacam-se os registos documentais, informático e de observação.

3.1.3.1. Documental

A informação disponível sobre os diferentes estados das máquinas anteriormente ao desenvolvimento deste projeto, era possível devido a um registo manual efetuado num documento (“Registo de tempos”), por parte do colaborador responsável pela máquina. Esta forma de registo de informação ainda é efetuada em máquinas que não tem o Tracker instalado. Este tipo de registo provoca/potencia a que a informação recolhida não seja a mais credível. Um dos potenciais fatores é a falta de rigor por parte dos colaboradores a quando do registo das operações realizadas na produção. A falta de rigor no registo de operações resulta numa análise imprecisa.

3.1.3.2. Informático

Posteriormente aos colaboradores realizarem o registo manual no documento “Registo de tempos” é obrigatório realizar a atualização da base de dados informática (através de uma aplicação) que contém o histórico de tempos associados à execução dos diferentes moldes. Esta atualização de registos é feita individualmente e de forma manual. O processo da atualização da base de dados, tem como base a informação do registo de tempos, acarretando/traspondo a falta de rigor dos registos realizados anteriormente para a base de dados.

3.1.3.3. Observações

A forma como são efetuados os registos na empresa Simoldes Aços, registos manuais, traduz-se num processo demorado e impreciso. Como consequências diretas deste tipo de registo podem-se destacar os seguintes:

1. Inexistência de controlo em tempo real dos diferentes estados de cada máquina;
2. Escassez de informação sobre taxas de ocupação de maquinaria, o que se traduz a nível de gestão e planeamento numa dificuldade acrescida;
3. Registos imprecisos associados a execução de diferentes componentes do molde.

3.2. Tecnologia Antecessora

Nesta secção pretende-se expor todas as formas e tecnologias que foram testadas/aplicadas para o registo dos diferentes estados das máquinas na empresa Simoldes Aços. Assim vão ser analisados três formas de controlo: A observação “*OneShot*”, Conjugação de um *software* e *hardware* de uma empresa externa e o Tracker PLC.

3.2.1. Observação “*OneShot*”

Apesar de ser uma forma bastante simples e utilizada desde os primórdios da indústria em geral, foi similarmente realizada pela minha pessoa no decorrer do estágio. Esta forma de registo de informação é apresentada da seguinte forma: Um colaborador da empresa passa pelas diferentes máquinas e analisa o estado em que estão (a trabalhar ou paradas), apontando essa informação num documento. Mais tarde a informação é transcrita para ficheiros informáticos que permitem realizar diferentes estudos e análises. A figura 3.2 (página seguinte) representa os dados recolhidos durante o estágio. Nesta figura (3.2) a indicação de máquina a trabalhar corresponde a “1”, assinalada com a cor verde e a indicação de máquina parada corresponde a “0”, assinalado com a cor vermelha. É também possível verificar a percentagem de ativação correspondente a cada máquina.

A figura seguinte (3.2), apresenta os dados recolhidos da observação “OneShot”.

Dia	19/mar			20/mar				23/mar				24/mar				26/mar				27/mar				30/mar				31/mar				1/abr				2/abr				7/abr				8/abr				9/abr				10/abr				13/abr				14/abr						
hora	10:40	15:00	16:45	8:30	11:30	14:30	16:30	9:00	11:15	13:45	16:00	8:45	11:45	14:30	16:45	9:00	13:30	16:40	9:30	11:55	15:45	8:20	12:20	15:30	16:35	9:20	12:15	15:30	9:00	13:50	16:40	10:55	16:30	9:20	10:55	16:05	8:55	14:05	11:00	15:15	8:50	11:20	15:30	13:50	16:55	11:05	16:50																			
CNC	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	25	47	53%															
CNW	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	23	47	49%														
CNG	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	15	47	32%														
CNI	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	18	47	38%														
CNS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	13	47	28%														
CNT	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	24	47	51%															
CNU	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	24	47	51%														
CNV	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	18	47	38%															
CNX	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	20	47	43%															
CNY	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20	47	43%														
CNJ	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	17	47	36%														
CNK	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	19	47	40%															
CNL	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	47	34%															
CNM	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	20	47	43%															
CNN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	10	47	21%															
HSC	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	38	47	81%															
HSD	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	32	47	68%															
HSB	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	38	47	81%															
CNE	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	17	47	36%															
HSA	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	27	47	57%														
CNB	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	30	47	64%															
CNP	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	27	47	57%															
CNO	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	19	47	40%															
HSH	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	39	47	83%															
FI	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	22	47	47%													
FM	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	26	47	55%															
HSG	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	36	47	77%																
HSF	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	37	47	79%													
CNA	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	29	47	62%														
FB	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15	47	32%														
HSE	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	27	47	57%														
Media/leitura	42%	55%	58%	55%	48%	52%	52%	52%	58%	68%	42%	42%	48%	55%	58%	42%	55%	58%	58%	48%	42%	45%	45%	42%	48%	65%	35%	65%	55%	71%	52%	45%	35%	71%	48%	58%	55%	55%	52%	48%	42%	58%	42%	42%	52%	32%	45%																			
Leituras P.	13	17	18	17	15	16	16	16	18	21	13	13	15	17	18	13	17	18	18	15	13	14	14	13	15	20	11	20	17	22	16	14	11	22	15	18	17	17	16	15	13	18	13	13	16	10	14																			

Figura 3. 2 - Dados recolhidos durante o estágio.

Na figura 3.3 é possível verificar a quantidade total de máquinas com maior e menor ativação de trabalho. O número de máquinas a trabalhar considerado ideal, é entre 20 a 24 máquinas. Esta condição não se verifica. Ao invés disso, a quantidade de máquinas que está em simultâneo a trabalhar é entre 13 a 18 máquinas. Esta faixa situasse numa escala intermédia de ativação pretendida.

Máquinas Ativas	Numero de vezes
10	1
11	2
12	0
13	9
14	4
15	6
16	6
17	7
18	7
19	0
20	2
21	1
22	2
23	0
24	0

Figura 3.3 - Ativação e paragem de maquinaria.

Na figura 3.4 está apresentada de forma gráfica a informação presente na figura 3.3

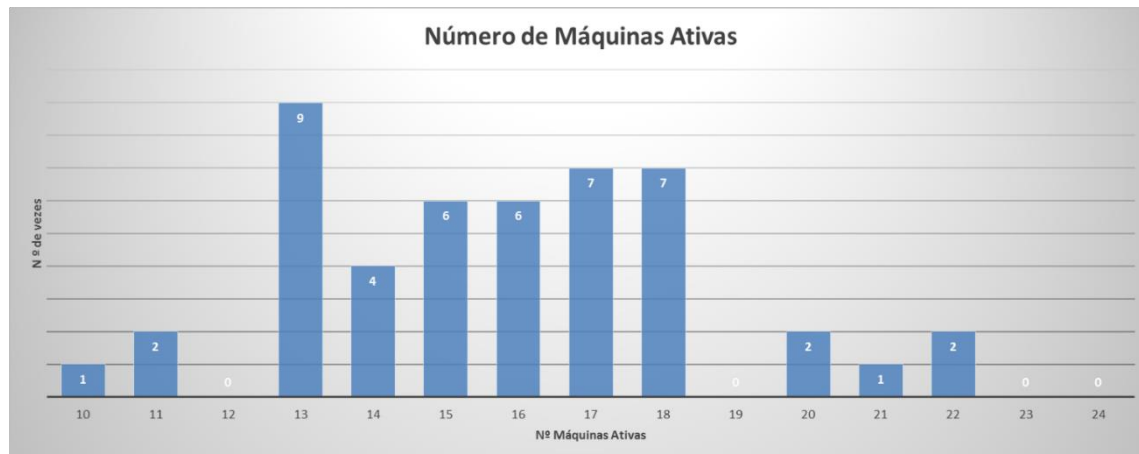


Figura 3.4 - Representação grafica de ativação e paragem de maquinaria.

3.2.2. Software e Hardware em Testes

Antes da realização deste projeto, a empresa envergou pela procura de soluções já desenvolvidas no mercado. Empresas especializadas neste tipo de soluções disponibilizaram-se para ensaios, o que permitiu perceber à empresa Simoldes Aços a importância deste tipo de produtos na indústria atual. O *software* e *hardware* permitiam o acesso à informação sobre os tempos de paragem, avanço da ferramenta, designação dos componentes, tipo de operação, duração da operação, entre outros. Todos os dados referidos eram registados e estavam disponíveis para uma posterior análise.

Na figura 3.5 é visível a informação guardada por esta solução. Cada barra horizontal corresponde a uma máquina, onde a cor verde assinala a máquina a trabalhar e a amarela indica os tempos de paragem. A barra vermelha aparece cada vez que a máquina não está a trabalhar, simbolizando um tempo de paragem não justificado. Posteriormente o operador tem a responsabilidade de justificação deste período de paragem, através de seleção de paragem no programa.

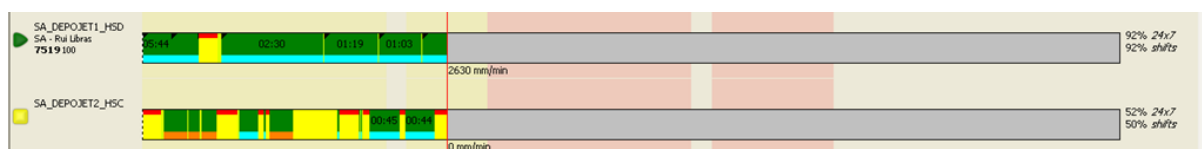


Figura 3.5 - Informação apresentado por *software* em teste.

Para o uso desta solução foi necessário nos comandos mais antigos realizar a modificação de ficheiros dos comandos, realizado pela FIDIA quando aplicável, e o acréscimo de *hardware* (placas eletrónicas) ao quadro de controlo das máquinas. Estas alterações foram implementadas pela empresa detentora do *software*.

3.2.3. Tracker PLC

O projeto “Tracker PLC”, surge na empresa na sequência dos projetos anteriores e devido à necessidade cada vez mais presente da informação relativa aos estados em que as máquinas se encontram juntamente com percentagens de ativação das mesmas.

Com este propósito foi selecionado um autómato industrial, Micrologix 1100 (Figura 3.6) para o desenvolvimento do projeto Tracker PLC.

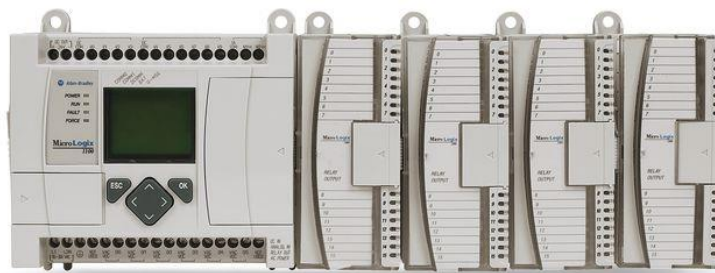


Figura 3.6 - Autómato industrial, Micrologix 1100. [35]

A utilização de um autómato neste projeto está diretamente ligada ao facto de a sua lógica ser programável podendo executar diferentes funções de acordo com as necessidades da empresa. Para além desta mais-valia, outra, é a sua integração em redes indústrias típicas (Modbus / Device Net / Profibus / AS-I) ou através de utilização da rede ethernet. Os dados recolhidos são facilmente transmitidos para um sistema operativo tipo Windows.

O autómato selecionado permitia realizar monitorização em tempo real, executar ligações de sinais digitais e analógicos de uma máquina, aquisição e processamento de dados, entre outras.

Com as tecnologias anteriores foi possível saber as percentagens de ativações das máquinas. No entanto estas soluções por demasiado simplistas ou dispendiosas foram colocadas em “standby”. O projeto apresentado e o relatório presente insere-se no contexto da necessidade de desenvolvimento de uma solução que desse resposta à necessidade de informação relativa aos diferentes estados das máquinas. No capítulo seguinte (capítulo 4) é descrito o processo de desenvolvimento da solução interna e definições teóricas relativas ao projeto inserido no estágio.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO TRACKER

4.1. Projeto Tracker

4.1.1. Descrição

O projeto Tracker integra-se nas atividades da empresa no controlo do processo de fresagem, através da definição e identificação dos diferentes estados das máquinas fresadoras CNCs. Caracteriza-se este projeto pela identificação de diferentes modelos de máquinas, dificuldades encontradas, procura de soluções para o controlo do processo de fresagem, a implementação de soluções e o envio de informação correspondente aos estados das máquinas para a rede interna da empresa.

4.1.2. Objetivos

Os principais objetivos são a identificação dos diferentes estados, tais como Maquinação, *Setup* e Paragem e o envio destes para a rede interna da unidade fabril. Objetivo também do projeto são as diferentes informações resultantes complementares dos estados anteriores que contribuem de forma significativa para um melhor conhecimento do processo produtivo de fresagem CNC da unidade fabril.

Numa primeira fase o objetivo do projeto Tracker passava apenas pela instalação e testes funcionais numa máquina CNC. No entanto com o decorrer do estágio o projeto foi expandido para duas máquinas CNC (descritas na secção seguinte).

4.2. Caracterização das Máquinas

Os equipamentos envolvidos neste projeto são máquinas de fresagem CNC, para maquinação de pequenos e médios componentes da construtora Rambaudi modelo 800.

Fundada em 1945 a Rambaudi (Figura 4.1) assinalou a história de máquinas de fresagem CNC, com máquinas de fresagem e os seus centros de fresagem.



Figura 4.1 - Logótipo da RAMBAUDI. [36]

Em 2010, a marca Rambaudi juntou-se ao Grupo Fair, (um dos maiores fabricantes mundiais de máquinas de fresagem), encontrando-se presentemente no mercado como um parceiro altamente bem qualificado/equipado e de confiança para o fornecimento de uma gama bastante alargada de equipamentos, desde máquinas de alta velocidade, máquinas de incremento de alta capacidade com 3 + 2, 5, 6 eixos e muitas outras soluções.

Na Figura 4.2 e Figura 4.3 é apresentado um esquemático das máquinas na vista frontal e de topo. Na vista frontal são identificados os eixos X e Z, a base de apoio da máquina, a mesa de movimento (eixo X) e a árvore (eixo Z) onde se encontra o motor elétrico.

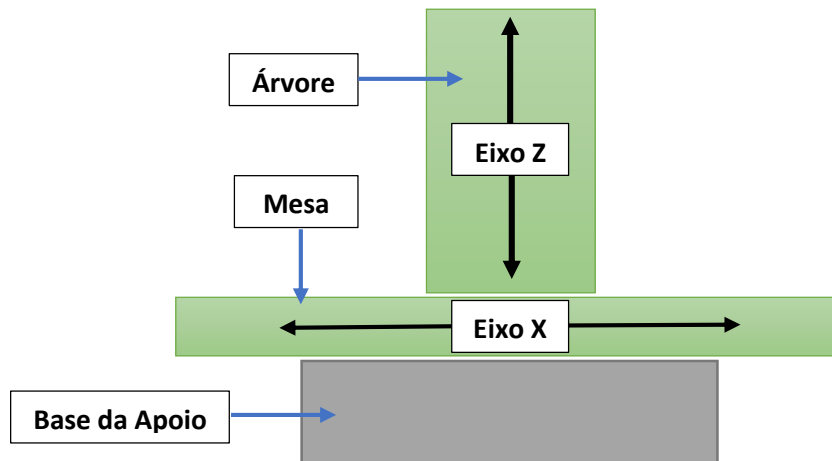
Vista frontal:

Figura 4.2 - Vista frontal de máquina CNC.

Na vista de topo é assinalado o eixo Y na mesa da máquina, o quadro de controlo, o comando da máquina, a cablagem entre o quadro de controlo e a máquina e novamente a árvore.

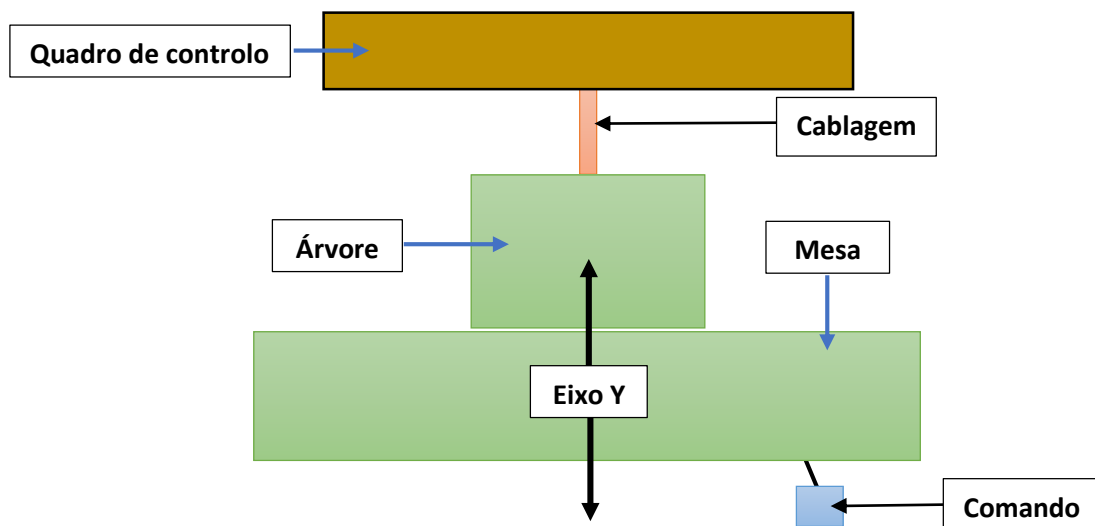
Vista de topo:

Figura 4.3 - Vista de topo de máquina CNC.

4.2.1. Rambaudi 800 (CNC)

A máquina Rambaudi 800, cuja terminação adotada na unidade fabril é CNC, é uma máquina de fresagem CNC, com 3 graus de movimentos (X,Y,Z) produzindo componentes médios e pequenos. O fabricante desta máquina foi a RAMBAUDI Industriale S.P.A., e o seu ano de fabrico em 2002. Na Figura 4.4 é visível a máquina, na instalação fabril, bem como a sua localização no *layout* da empresa Simoldes Aços.



Figura 4.4 - Máquina CNC e localização no layout da empresa.

As máquinas com o projeto em teste foram selecionadas devido ao tipo de trabalho que executam juntamente com a sua localização privilegiada, que permite a observação destas a partir de um gabinete de trabalho. O tipo de trabalho é considerado o ideal, no sentido em que as peças que são maquinadas exigem uma troca frequente de ferramenta e componentes, devido a períodos de maquinação relativamente baixos, quando comparadas com outras máquinas do parque industrial da empresa.

4.2.2. Rambaudi 800 (CNW)

À semelhança da anterior a segunda máquina, Rambaudi 800, cuja terminação adotada na unidade fabril é CNW, é uma máquina de fresagem CNC, também com 3 graus de movimentos (X,Y,Z). A sua produção, à semelhança da anterior, incide em componentes médios e pequenos. O fabricante desta máquina foi a RAMBAUDI Industriale S.P.A., e o ano de fabrico em 1998, (mais antiga 4 anos que a Rambaudi 800 (CNC)). Na Figura 4.5, é visível a máquina, na unidade fabril.



Figura 4.5 - Máquina CNW.

4.3. Caracterização dos estados

O capítulo atual tem como objetivo definir o que se entende por estado de Maquinação, *Setup*, Paragem, Emergência, Troca Tool/Ferramenta, Transportador ON/OFF e Extra Curso.

Necessariamente a partir deste ponto do relatório, sempre que for referido alguns destes estados tomar-se-á estas definições como a referência.

4.3.1. Maquinação

O estado de maquinação é considerado sempre que as fresadoras CNC estão a “remover aço”, independentemente do formato de peça e material que se encontra em maquinação. O tempo que se encontra nesta operação, é imprescindível para o cálculo de OEE. Para o projeto em causa definiu-se que este estado seria aplicado sempre que se verificassem duas condições. Na primeira condição são analisados os movimentos de X,Y,Z. Uma margem predefinida (mM) como margem de maquinação base em observações, permite que X,Y,Z estejam constantemente a comparar-se entre si, (inferiormente e superiormente) e se alguma dessas margens for ultrapassada irá ser detetado movimento. Na segunda condição considera-se o motor elétrico da árvore. Se o motor elétrico, (mEon) presente na árvore estiver em rotação e a primeira condição se verificar, é considerado o estado de maquinação. Em suma, o estado maquinação é considerado sempre e unicamente quando a máquina está a remover aço. A deteção do estado de maquinação corresponde à expressão matemática indicada na equação 1:

$$Flag_{Maquinação} = (|x - y| > mM \text{ ou } |x - z| > mM \text{ ou } |y - z| > mM) \& mEon \quad (1)$$

Algumas máquinas mais recentes definem estado de maquinação apenas quando o motor elétrico (mEon) se encontra ativo, sem levar em consideração o movimento dos eixos. Não foi esta a abordagem considera por definição interna da empresa.

4.3.2. Setup

Descrever o estado de *Setup* é bastante complexo, visto existirem um conjunto alargado de condições que definem este estado. Após períodos de reflexão com responsáveis dos diferentes setores de fresagem, operadores e pensamento auto crítico, definiu-se que este estado seria aplicado sempre que se verifiquem duas condições.

1. A primeira condição está relacionada com a deteção de movimento nos eixos X,Y,Z e todas as condicionantes que permitem que seja distinguido movimento;
2. A segunda condição em oposição ao estado de maquinação define que o motor elétrico presente na árvore não pode estar em rotação (\overline{mEon}).

A segunda condição tem a decisão assente no tipo de programação desenvolvida nos programas de trajetória para as máquinas CNC. Nestes o programador desabilita a rotação do motor elétrico presente na árvore no final do programa. Uma margem predefinida com base em observações (mS — margem de setup), permite que X,Y,Z se compararem entre si, (inferiormente e superiormente). Se alguma dessas margens for ultrapassada irá ser detetado movimento — primeira condição.

Em resumo, o estado *setup* é considerado sempre e unicamente que o operador está a movimentar manualmente algum dos eixos e o motor elétrico da árvore não estar em rotação. A detecção do estado de *setup* corresponde à expressão matemática indicada na equação 2:

$$Flag_{Setup} = (|x - y| > mS \text{ ou } |x - z| > mS \text{ ou } |y - z| > mS) \& \overline{mEon} \quad (2)$$

4.3.3. Paragem

Paragem é o estado mais simples de se caracterizar. No projeto paragem é considerado sempre que a primeira condição dos estados anteriores não se verifique (na há movimento). O estado paragem é considerado sempre e unicamente quando os eixos X,Y,Z não se movimentam. A detecção do estado de maquinação corresponde à expressão matemática indicada na equação 3:

$$Flag_{Paragem} = \overline{Flag_{Maquinação} + Flag_{Setup}} \quad (3)$$

4.3.4. Emergência

Emergência é um estado, que tal como o nome indica é ativado apenas quando existe uma emergência. Sempre que um operador ou algum colaborador que se encontre no chão de fábrica, verifique que algo não está de acordo com o expetável, será acionado um botão de emergência que automaticamente corta a energia da máquina, através do corte de energia. Consecutivamente todas as operações em curso são interrompidas.

4.3.5. Troca Tool/ Troca Ferramenta

O estado de troca *tool*/troca ferramenta corresponde à troca de ferramenta de trabalho e é ativado sempre que o operador da máquina prime o botão correspondente a esta ação. A ativação deste estado ocorre obrigatoriamente duas vezes por cada troca de ferramenta. A primeira para libertar a ferramenta precedente e a segunda para colocar a ferramenta pretendida. Este estado serve de informação complementar para o cálculo de OEE.

4.3.6. Transportador ON/OFF

O estado transportador ON corresponde ao acionamento do transportador de limalha. O estado OFF diz respeito à ação de desligar o transportador de limalha. Embora a limalha resulte do estado de maquinação ativa, o estado do transportador é completamente independente desse estado. Para ativação/desativação do transportador é necessário que os operadores se desloquem até ao quadro da máquina. Oportunidades de melhoria foram identificados neste ponto (botão de desligar e ligar o transportador no comando de controlo da máquina).

4.3.7. Extra curso

O estado de extra curso verifica-se sempre que o operador da máquina movimenta um ou diferentes eixos para além do limite das réguas de controlo. Nestes casos um contacto de limitação nas réguas é acionado automaticamente o que provoca a desativação dos eixos correspondentes. Um aviso no comando da máquina também é imitado. Para reversão deste erro é necessário realizar uma combinação de chaves e inverter o sentido de movimentação do/s eixo/s.

4.4. Validação da sequência temporal dos estados

No presente secção é exposto como se validam os estados de maquinação, *setup* e paragem apresentados anteriormente, nomeadamente a sua sequência temporal.

No algoritmo de programação consideram-se dois estados:

- *Estado lógico em memória*: estado da máquina (estado após filtragem), valor comunicado para a rede da empresa;
- *Estado lógico atual*: estado “medido” e calculado pelas fórmulas (1), (2) e (3) após a aquisição de sinal pelo Arduino.

O objetivo da filtragem é a não alteração do *estado lógico em memória* quando um *input* não é “real”. Um *input* não “real” corresponde a uma paragem virtual dos eixos (exemplo: passagem dos três eixos em simultâneo pelo valor $V_{in}=0V$ durante os movimentos efetuados pelos eixos da máquina – V_{in} é a velocidade e sentido).

Validação do estado de maquinação:

Na figura 4.6 é visível o seguinte: O estado de maquinação, ativo inicialmente, é intercetado por uma paragem virtual dos eixos. O valor de memória do estado (em cima) não se altera. À frente acontece novamente a mesma situação, interceção por paragem, mantendo-se igualmente o estado de memória inalterado (maquinação).

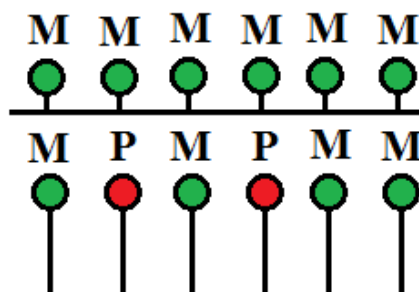


Figura 4.6 - Verificação estado atual – em cima estado de memória, em baixo estado medido.

Devido a este tipo de verificação fica assegurada a não alteração do estado de maquinação para parado, unicamente por uma leitura que pode não corresponder ao estado real.

Na Figura 4.7 é visível a alteração do estado de paragem para o estado de maquinação.

O algoritmo desenvolvido realiza uma verificação do estado de memória e apenas quando o estado atual for três vezes igual é realizada a alteração do estado de memória para o estado atual. Na Figura 4.7 ilustra-se a verificação por três vezes do mesmo estado atual (em baixo) para permitir a alteração do estado de memória para maquinação (em cima).

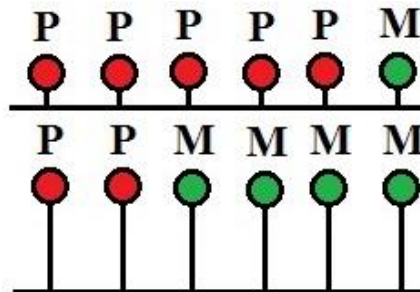


Figura 4.7 - Alteração do estado parado para maquinação – em cima estado de memória, em baixo estado medido.

O estado de memória, corresponde a informação enviada para a rede interna da unidade fabril.

Na verificação de *setup* o estado enviado para a rede interna da unidade fabril corresponde ao estado atual. A não verificação de estado atual/memória, foi devido à não identificação dessa necessidade – pretende-se detetar paragem intermédias. O estado de *setup*, como já referido caracteriza-se por ser bastante complexo.

À semelhança do estado de maquinação, também no estado de paragem a lógica de programação se mantém. Quando é referido uma maquinação virtual dos eixos, poderá ser devido ao ruído existente na tensão de referência dos diferentes eixos. Vejamos a Figura 4.8: O estado de paragem, ativo inicialmente, é intercetado por uma maquinação virtual dos eixos. O valor de memória do estado (em cima) não se altera. À frente acontece novamente a mesma situação, interceção por maquinação, mantendo-se estado de memória inalterado (paragem).

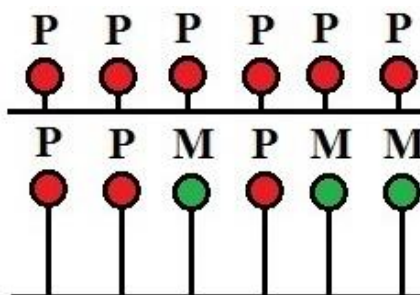


Figura 4.8 - Verificação estado atual – em cima estado de memória, em baixo estado medido.

Com este tipo de verificação fica assegurada a não alteração do estado de paragem para maquinação, apenas por uma leitura que pode não corresponder ao estado real.

Na Figura 4.9 é visível a alteração do estado de memória de maquinação (em cima) para o estado de paragem. Ainda nesta figura (Figura 4.9) é apresentado um exemplo de verificação do estado atual para alteração do estado de memória. É verificado três vezes o estado atual para a alteração do estado de memória para paragem.

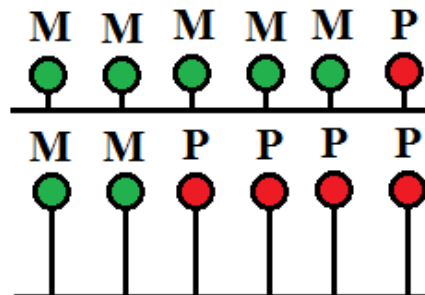


Figura 4.9 - Alteração do estado maquinação para parado – em cima estado de memória, em baixo estado medido.

Tal como na situação de maquinação, o estado de memória corresponde à informação enviada para a rede interna da unidade fabril.

Com a validação de estados apresentada são eliminadas alterações de estado “desnecessárias” que podem não corresponder à realidade.

4.5. Tecnologia do Projeto

Nesta secção é apresentada a tecnologia necessária para o bom funcionamento e deteção dos diferentes estados das fresadoras CNC.

4.5.1. Microcontrolador Programável Arduino

O microcontrolador programável Arduino foi desenvolvido como uma das primeiras placas eletrónicas que utiliza código aberto revolucionando o mundo do *hardware*. O Arduino permite a profissionais e não profissionais criarem protótipos de projetos eletrónicos, instruindo o mais dos comuns neste processo de aprendizagem, através de um elevado conjunto de informação disponível nas várias plataformas existentes.

Este microcontrolador remonta a 2005, quando o primeiro protótipo surgiu num projeto escolar no *Interaction Design Institute - Ivrea*. O seu principal objetivo era o de auxiliar *designers* (sem experiência no ramo da eletrónica) a interligar o mundo físico e o mundo digital, fornecendo assim uma rápida visão dos seus protótipos funcionais.

Desde o seu nascimento o Arduino Srl (*aka inteligente Projetos Srl*), foi o lugar onde as ideias tomaram forma. Os primeiros modelos de Arduino foram feitos e distribuídos a outras escolas de *design* interativo em todo o mundo.

Este início empolgante prolongou-se até aos dias de hoje, apresentando-se como novo todos os dias, principalmente quando se usa produtos Arduino pela primeira vez.

A dinâmica inicial nunca parou e novas opções de módulos Arduino foram e continuam a ser lançadas. Um ambiente de código aberto é a filosofia que a marca Arduino pretende continuar para que milhões de engenheiros, fabricantes, *designers* e amantes do Arduino em todo o mundo possam aprender sobre a engenharia eletrônica e programação de computadores.

(Adaptado de: <http://www.arduino.org/about-us> [4])

4.5.2. Hardware

Na secção presente são apresentadas características técnicas de *hardware* já desenvolvido por companhias industriais, utilizado na procura de solução ao projeto Tracker.

A plataforma Arduino surgiu como uma solução que se adequa às diferentes necessidades do projeto, possibilitando a realização do controlo do processo de fresagem CNC.

Nas subsecções seguintes (4.5.2.1, 4.5.2.2 e 4.5.2.3), são apresentados os *hardwares* Arduino Uno, Arduino Mega e Arduino *Ethernet Shield 2*. Comparativamente aos *hardwares* e *softwares*, apresentadas na secção 3.2 são uma solução monetariamente mais em conta.

4.5.2.1. Arduino Uno

O Arduino Uno, visível na Figura 4.10 apresenta-se como uma solução, sendo constituído por diferentes componentes. A sua “essência” é constituída por uma placa de microcontrolador baseado no ATmega328P. Das suas entradas e saídas estão disponíveis 14 pinos digitais, que podem ser configurados como entradas ou saídas. Do total dos 14 pinos, 6 tem a potencialidade de ser usados como saídas PWM. Apresenta também 6 entradas analógicas, um cristal de quartzo 16 MHz e conexão USB série.

Para a alimentação apenas é necessária a conexão a um computador, mas no entanto vem equipado com uma entrada de tensão DC, possibilitando assim a ligação de um adaptador AC-DC. O primeiro Arduino desenvolvido foi designado de Uno em conjunto a versão 1.0 do *Software* Arduino (IDE, o qual mais à frente é referenciado).



Figura 4.10 - Arduino Uno. [5]

Especificações técnicas do Arduino Uno podem ser analisadas na Tabela 2

Microcontrolador	ATmega328P
Tensão operacional	5 Vd.c.
Tensão de entrada (recomendado)	7-12 Vd.c.
Tensão de entrada (limite)	6-20 Vd.c.
Digital I / O pins	14 (6 oferecem saída PWM)
Analog pinos de entrada	6
Velocidade do <i>Clock</i>	16 MHz
Memória <i>Flash</i>	32k bytes
Comprimento	68,6 mm
Largura	53,4 mm
Peso	25 Gramas

Tabela 2 - Especificações técnicas do Arduino Uno.

4.5.2.2. Arduino Mega 2560

O Arduino Mega baseado na placa de microcontrolador ATmega2560, visível na Figura 4.11 surge devido ao projeto Tracker ser mais complexo que o inicialmente previsto, necessitando de mais entradas/saídas analógicas e digitais. Com 54 pinos configuráveis como entradas ou saídas digitais e com 16 entradas analógicas, bem como mais espaço de memória (32K bytes - Uno VS 256 K bytes – Mega) para programação, permite uma solução “não rígida”, limitada pelo número de entradas/saídas e memória da plataforma Arduino, mas sim uma solução expansível para necessidades futuras do projeto Tracker. Neste projeto o total de pinos do Arduino Uno é suficiente, mas a capacidade de memória da plataforma Uno já se encontra bastante próxima da capacidade total. Neste sentido, futuras oportunidades de melhoria ao projeto Tracker não seriam possíveis. Com a expansão do projeto em vista, e com oportunidades de melhoria identificadas foi implementada a decisão estratégica da utilização do Arduino Mega 2560 ao invés do Arduino Uno.



Figura 4.11 - Arduino Mega. [6]

Como no Arduino Uno, a alimentação de tensão pode ser realizada através de uma conexão de cabo USB ao computador, vindo no entanto igualmente equipado com uma entrada de tensão DC. A entrada DC necessita de uma ligação adaptadora AC-DC.

Especificações técnicas do Arduino Mega 2560 podem ser analisadas na Tabela 3.

Microcontrolador	ATmega2560
Tensão operacional	5 Vd.c.
Tensão de entrada (recomendado)	7-12 Vd.c.
Tensão de entrada (limite)	6-20 Vd.c.
Digital I / O pins	54 (15 oferecem saída PWM)
Analog pinos de entrada	16
Velocidade do <i>Clock</i>	16 MHz
Memória <i>Flash</i>	256k bytes
Comprimento	101.52 mm
Largura	53,3 mm
Peso	37 Gramas

Tabela 3 - Especificações técnicas do Arduino Mega 2560.

4.5.2.3. Arduino *Ethernet Shield 2*

Como exposto anteriormente, é indispensável o acompanhamento em tempo real do estado das diferentes máquinas. Na sequência desta necessidade e posteriormente à recolha de dados é necessário o envio destes estados, pela rede da unidade fabril. Como a plataforma anterior, Arduino Mega, já tinha sido adotada, o Arduino *Ethernet Shield 2*, Figura 4.12, oferece uma solução fiável, conectando o Arduino Uno ou Mega rapidamente e sem problemas à rede interna da unidade fabril.

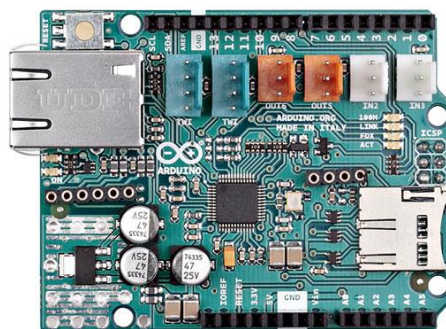


Figura 4.12 - Arduino *Ethernet Shield 2*. [7]

Para o envio de informação através do Arduino *Ethernet Shield 2* é necessário interligar o módulo à placa do Arduino, conectá-lo à rede interna da unidade fabril com um cabo RJ45, implementar algumas configurações de programação, para o módulo começar a transmitir os dados recolhidos. A transmissão dos dados é realizada através do protocolo UDP, embora o Arduino *Ethernet Shield 2* tenha capacidade para a utilização do protocolo TCP.

A escolha do primeiro deve-se a este ser substancialmente mais rápido do que o protocolo TCP. As especificações técnicas do Arduino *Ethernet Shield 2* podem ser analisadas na Tabela 4.

Microcontrolador	Wiznet W5500
Tensão de operação	5 Vd.c (fornecidos da placa Arduino)
Controlador <i>Ethernet</i>	W5500 com <i>buffer</i> interno 32K
Velocidade da conexão	10 / 100 Mb
Conexão com Arduino	Na porta SPI

Tabela 4 - Especificações técnicas do Arduino *Ethernet Shield 2*.

O Arduino *Ethernet Shield 2* pode usar como fonte de alimentação de tensão operacional um transformador de linha integrado (*Power Over Ethernet*), a partir de uma conexão RJ-45 padrão. A alimentação do Arduino Mega pode ser realizada em conjunto com esta, através da interligação dos dois módulos.

A opção de alimentação de tensão através de um transformador de linha integrado foi analisada e a sua utilização colocada em hipótese. No entanto esta opção foi colocada de parte, devido à unidade fabril não possuir nenhum *switch* com injeção de potência nos terminais. Com o intuito de uma visualização mais eficaz e rápida no local de instalação o Arduino *Ethernet Shield 2* contém uma série de LEDs de informação, apresentados na Tabela 5.

LED	Função
ON	Indica que a placa e o <i>shield</i> tem energia.
Link	Indica a presença de uma hiperligação de rede e pisca quando <i>shield</i> transmite ou recebe dados.
FDX	Indica que a conexão de rede é <i>full duplex</i> .
100mb	Indica a presença de uma ligação de rede 100 Mb / s (em oposição a 10 Mb / s).
ACT	Pisca quando a atividade RX ou TX está presente.

Tabela 5 - Combinação de leds para transmitir informação.

4.5.3. Software

Na programação da plataforma Arduino é necessário um *software*.

Para o projeto Tracker foi utilizado o *open-source Arduino Software (IDE)*, versão 1.7.6 (Figura 4.13), sendo esta uma aplicação multiplataforma escrita em Java. Derivada dos projetos *processing* (uma linguagem de programação de código aberto e ambiente de desenvolvimento integrado (IDE)) e *wiring* (de *hardware* livre), é uma plataforma de prototipagem eletrónica composta por uma linguagem de programação em conjunto com um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) e um microcontrolador.



Figura 4.13 - *Software open-source* para programação do Arduíno (IDE). [8]

O *software* pode ser usado com qualquer plataforma Arduíno, sendo composto por um editor de código com recursos de realce de sintaxe, parênteses correspondentes de identificação automática. A compilação e o *upload* de programas para a plataforma Arduíno é possível através de uma única ação. Devido a estas capacidades a utilização de programas que recorrem a ambientes de linha de comando para a execução de funções como as descritas anteriormente é eliminada. A linguagem de programação utilizada foi C/C++ e a biblioteca que permite tal característica é a "*Wiring*".

A estrutura de programação do *software* é composta por três partes principais. A primeira corresponde à declaração de variáveis e inclusão de bibliotecas. A segunda "*void setup()*", é onde se inicializam variáveis e as configurações e a terceira "*void loop()*", é onde o programa "corre", repetindo um conjunto de rotinas pré programadas em *loop*.

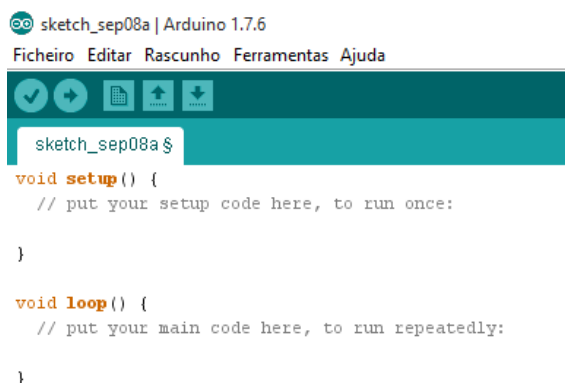


Figura 4.14 - Estrutura de programação do *software* IDE. [8]

O *software* descrito dispõe de versões para os diferentes sistemas operativos, como *Windows*, *Linux*, *MAC OS*, tornando-o bastante versátil.

4.6. Projeto Tracker - Dados da Máquina

No capítulo presente é exposto o desenvolvimento do projeto Tracker, durante a realização do estágio. Inclui assim as características técnicas das máquinas fresadoras CNC e circuitos desenvolvidos.

4.6.1. Módulos X Y Z

As máquinas em questão, Rambaudi 800 CNC e CNW tem três eixos, dois na horizontal (X,Y) e um na vertical (Z). Já referido anteriormente (secção 4.3 – Caracterização de estados), se um dos eixos se movimentar e se o motor elétrico estiver habilitado (em rotação), a máquina estará em maquinação. A necessidade de um sinal que indique o estado de cada um dos eixos, e consequentemente movimento ou paragem levou à utilização das variáveis de controlo internas “disponibilizadas” pela máquina. Com as variáveis de controlo temos acesso ao “comportamento” da máquina CNC. No interior do quadro de controlo, é possível encontrar o SIEMENS SIMODRIVE 611 (visível na Figura 4.15 - Módulos SIMODRIVE 611.) do fabricante Siemens.

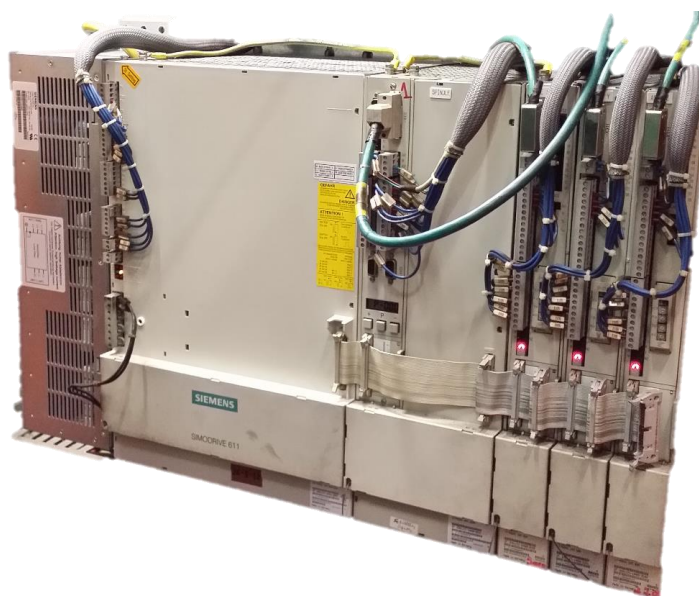


Figura 4.15 - Módulos SIMODRIVE 611.

O SIMODRIVE 611 é anunciado pela SIEMENS como um produto para levar uma máquina ao máximo da sua produtividade. O SIEMENS SIMODRIVE 611 é um sistema compacto e modular para diferentes eixos sendo suficientemente flexível para ser adaptado em diferentes áreas de aplicação. É igualmente adaptável a qualquer motor com seus módulos de desempenho e é um sistema com redes comuns de alimentação aos diferentes módulos de controlo. Para além destas características possui uma valia extra: a empresa dispõe de expansibilidade do SIEMENS SIMODRIVE 611 sempre que necessário.

Consultando o manual da máquina e procurando os módulos da Siemens em questão, encontramos na folha 71,72,73 (em anexo – capítulo 9, secção 9.3) o esquema elétrico do módulo de acionamento do eixo x, y e z, visíveis na Figura 4.16. Orientando o foco na linha 19 de ambas as folhas, e seguindo a indicação presente no X321 (contactos 14 e 56), somos direcionados para a folha 40, linha 10.

Na seguinte, Tabela 6 ,é apresentado a principal informação contida na folha 40.

Conector de nove pinos		Eixo de Referência	Variável a medir	Pinos	Cabo na Máquina	Variação Tensão	Página Manual
VOUT0	J1	X	-UAVX	3	6002	0 Vd.c.	40
VOUT0	J1	X	+UAVX	4	6001	±10 Vd.c.	40
VOUT1	J2	Y	-UAVY	3	6102	0 Vd.c.	40
VOUT1	J2	Y	+UAVY	4	6101	±10 Vd.c.	40
VOUT2	J3	Z	-UAVZ	3	6202	0 Vd.c.	40
VOUT2	J3	Z	+UAVZ	4	6201	±10 Vd.c.	40

Tabela 6 - Informação da placa “ARTW1” CNC FIDIA.

A folha 40 identifica o conector de 9 pinos da placa “ARTW1” CNC FIDIA.

As variáveis medidas são –UAVX e +UAVX, pino 3 e 4 correspondendo a tensão de referência do eixo X. Também medido é –UAVY e +UAVY, pino 3 e 4 correspondendo a tensão de referência do eixo Y. As variáveis –UAVZ e +UAVZ, pino 3 e 4 diz respeito à tensão de referência do eixo Z.

Na Figura 4.17 visível na página seguinte, é apresentada o esquemático da placa “ARTW1” CNC FIDIA. A Tabela 6 compila a informação mais relevante da placa “ARTW1” CNC FIDIA para o projeto Tracker.



Figura 4.16 - Módulo de acionamento Siemens do eixo X,Y,Z.

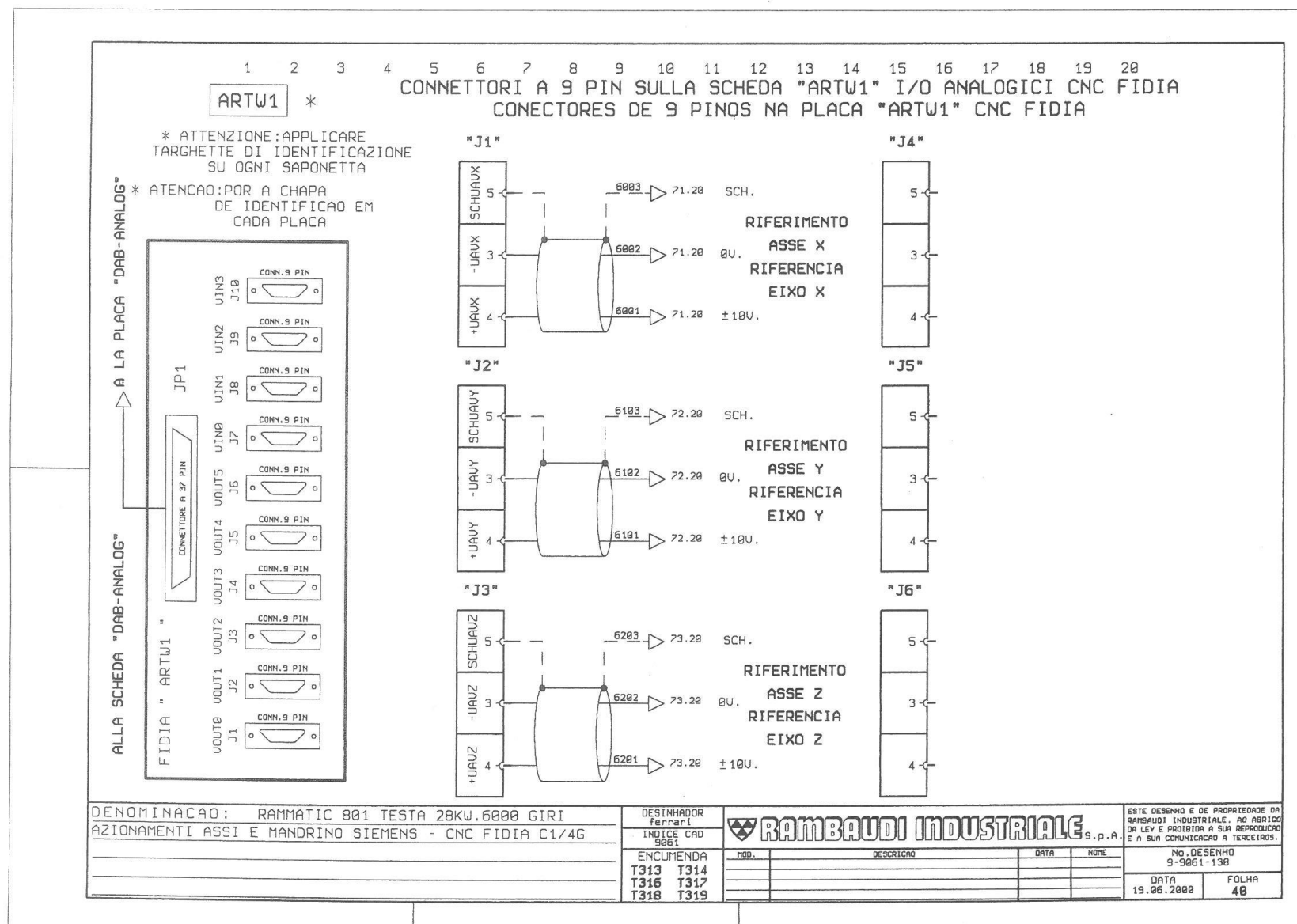


Figura 4.17 - Esquematismo de conector da placa "ARTW1" CNC FIDIA

Na Figura 4.18, estão presentes as saídas dos diferentes eixos (X,Y,Z) estando assinaladas a vermelho no invólucro prateado. Estas saídas transmitem a velocidade e a direção aos motores elétricos dos diferentes eixos.

Os conectores ligados imediatamente abaixo destes, identificados no esquema elétrico pela terminação X321 apresentam a tensão de referência dos diferentes eixos. Na Figura 4.18 é possível visualizar os cabos do eixo X (cabo 6002 e 6001), eixo Y (cabo 6101 e 6001) e o eixo Z (cabos 6202 e 6201).



Figura 4.18 – Saídas (-10 Vd.c. a 10 Vd.c.) dos acionamentos (eixo X,Y,Z).

Os dados transmitidos através destes cabos são os valores de referência da máquina para os eixos, ou seja, tem uma amplitude de -10 Vd.c. a 10 Vd.c., conforme o movimento negativo/positivo dos eixos da máquina. Quando um dos eixos se move na velocidade máxima (sentido direto/positivo), o movimento é caracterizado por uma tensão de referência que assume o valor máximo de 10Vd.c. aos terminais indicados, e o oposto sucede-se, -10 Vd.c. no sentido indireto/negativo do movimento. A amplitude presente nos terminais, 20 Vd.c., não é compatível com a plataforma Arduino. O Arduino Mega 2560 suporta aos seus terminais uma amplitude máxima de 5 Vd.c. estando compreendida entre os 0 e os 5 Vd.c.. Devido à amplitude de tensão de referência da máquina, foi necessário elaborar um circuito eletrônico para que o valor de tensão na entrada da plataforma Arduino não seja superior a 5 Vd.c. nem inferior a 0 Vd.c..

A secção seguinte, 4.6.2, caracteriza-se pela descrição da solução desenvolvida no decorrer do projeto Tracker: criação de uma plataforma de controlo com o fim de solucionar as limitações de tensão nas entradas do Arduino Mega 2560.

4.6.2. Circuito de Adaptação da Máquina ao Arduino

No presente ponto é apresentada a solução final para solucionar a amplitude de tensão proveniente das tensões de referência dos diferentes eixos. O circuito apresentado é descrito como “solução final” devido a um processo de desenvolvimento de circuitos anteriores, bem como uma outra forma de deteção de maquinação (projeto Tracker - sensores).

A forma de deteção e os circuitos anteriores tiveram o mesmo propósito do projeto Tracker, mas devido a alguma condicionante foram abandonados.

4.6.2.1. Plataforma de Controlo - Ampops Configuração Inversor

O circuito apresentado nesta secção é responsável pela leitura e transformação adequada dos valores de tensão de referência dos diferentes eixos (X,Y,Z), para a plataforma Arduino. Designa-se assim este circuito, por plataforma de controlo.

A plataforma de controlo denominado por ampops configuração inversor, foi desenvolvido para ser uma opção fiável e de baixo custo

Os componentes eletrónicos usados neste circuito foram: um transformador 230 Va.c. 50 Hz com uma saída de 12 Vd.c., 3 ampops uA741, um regulador de tensão de gama L78 series, um sensor de temperatura (LM35), e várias resistências.

Ao projetar este circuito foram tidos como princípios base a eficiência na recolha de dados e baixo custo de implementação. O circuito resultante destes princípios é apresentado à posterior exposição dos equipamentos escolhidos e à componente teórico-prática envolvida na sua conceção.

O transformador escolhido para o projeto tem uma tensão de entrada de 230 Va.c./50Hz e uma saída de tensão de 12 Vd.c.. Este transformador tem um preço bastante competitivo e é de fácil implementação. O aspeto real do transformador usado no circuito é o da Figura 4.19.



Figura 4.19 - Transformador usado no circuito 3. [37]

As características técnicas do transformador utilizado são visíveis na Tabela 7.

Transformador	FAS12V2AB
Tensão de entrada	100-240 Va.c. 50/60 Hz
Tensão de saída	12 Vd.c.
Corrente de saída	2000 mA
Dimensões	80 x 44 x 35mm

Tabela 7 - Características técnicas do transformador utilizado no circuito final.

O amplificador operacional utilizado no circuito da plataforma de controlo foi o uA741. O aspeto real do amplificador operacional uA741 é visível na Figura 4.20.

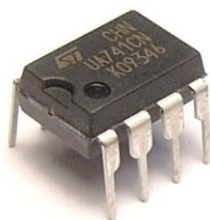
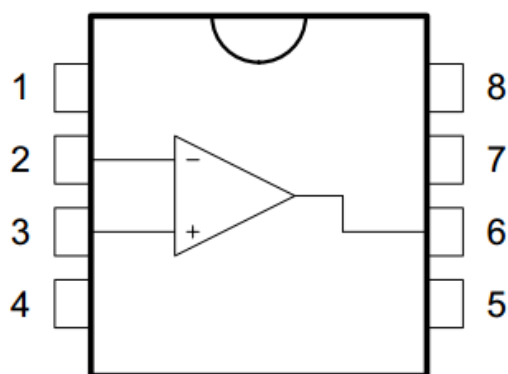


Figura 4.20 - Aspeto real do amplificador operacional uA741. [14]

A representação esquemática dos pinos do ampop uA741, é visível na Figura 4.21.



1 - Offset null 1	5 - Offset null 2
2 - Entrada inversora	6 - Saída
3 - Entrada não-inversora	7 - V_{CC}^+
4 - V_{CC}^-	8 - N.C

Figura 4.21 - Configuração de pinos do uA741.

Características técnicas do ampliador operacional são observáveis na Tabela 8.

Amplificador Operacional	uA741
Tensão de alimentação	± 18 Vd.c.
Diferencial de tensão de entrada	± 30 Vd.c.
Tensão de entrada	± 15 Vd.c.
Gama de temperatura operacional	0° até 70 ° C
Dissipação interna	500 mW
Saída de curto-circuito	Indefinida

Tabela 8 - Características técnicas do amplificador operacional uA741.

Os pinos quatro (VCC-) e sete (VCC+) do amplificador operacional uA741 devem de ser alimentados simetricamente. No entanto no circuito implementado não foi usada uma alimentação assimétrica. O pino sete foi alimentado por uma tensão de 5 Vd.c. e o pino quatro foi conectado ao ground do circuito. Para fornecer o valor de tensão de 5 Vd.c. (constantes) ao pino sete do amplificador operacional (entrada VCC+) foi introduzido no circuito o regulador LM7805.

Os sinais de referência dos eixos que contém o sentido de movimento e a velocidade para os motores, apresentam uma gama de tensão que varia de -10 Vd.c a 10 Vd.c. Estes sinais são recolhidos no quadro de controlo da máquina CNC, provenientes do controlador SIEMENS SIMODRIVE 611. Para serem lidos na plataforma Arduino têm de ser adaptados à gama de tensão compreendida de 0 a 5 Vd.c. – gama TTL.

Como apenas se pretende distinguir entre a situação de "em movimento"/ "parado", é suficiente determinar só as variações de velocidade/sentido num intervalo perto de 0 volts. Após esta constatação, e com a clara opção de utilizar um circuito que se torne o mais económico possível, bastaria utilizar um circuito que permitisse um remapeamento da transição por zero para a gama de tensões de entrada dos conversores analógico/digital do Arduino (ADC).

O circuito utilizado para o efeito encontra-se na Figura 4.22, tendo-se neste caso optado pela montagem inversora utilizando-se o amplificador operacional uA741. Foi construído um circuito para cada um dos eixos de forma a adaptar os níveis de tensão da velocidade/sentido à tensão TTL do ADC do Arduino.

O uA741 foi alimentado com 5 Vd.c., nível compatível com a gama TTL. Como não se alimentou simetricamente o uA741 (o fabricante recomenda alimentação simétrica), nem se criou uma massa virtual (normalmente usada em alimentações não simétricas), houve a necessidade de em laboratório verificar/confirmar o comportamento do circuito. Esse estudo é apresentado mais abaixo no presente texto.

Terminada a escolha do equipamento necessário ao circuito eletrónico, procedeu-se à sua elaboração. O circuito resultante é responsável pela conversão de níveis de tensão dos diferentes eixos. O circuito final visível na Figura 4.22, permite que todas as condições fiquem reunidas (níveis de tensão) para o bom funcionamento da plataforma Arduino.

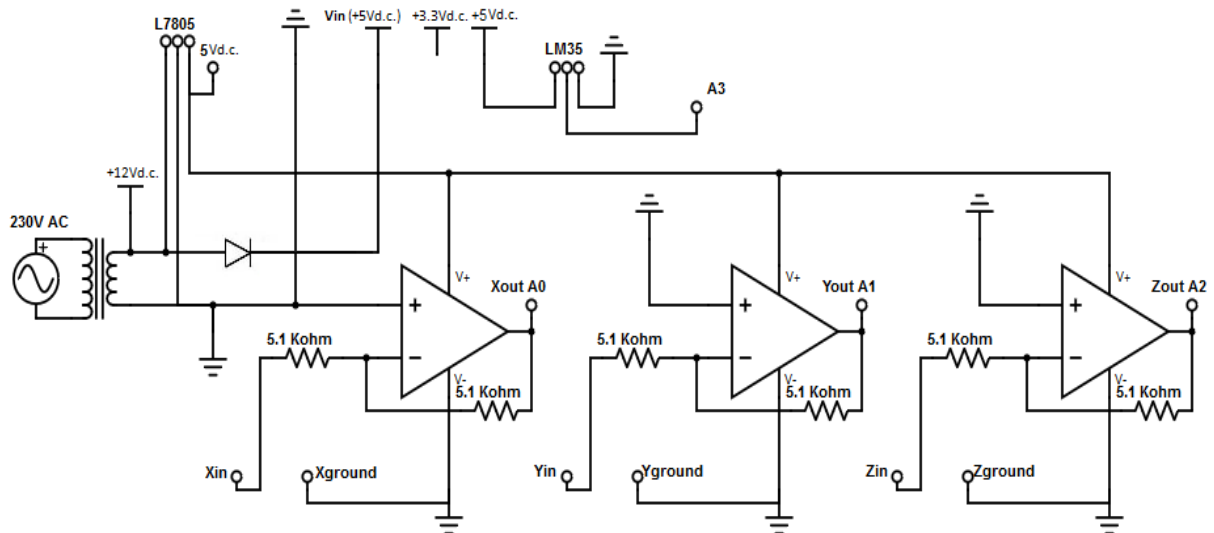


Figura 4.22 - Circuito final – plataforma de controlo.

Assim os três amplificadores operacionais foram “configurados ” na montagem amplificador inversor.

Na Figura 4.23, é apresentado o amplificador inversor, no circuito ideal com o ampop realçado e na Figura 4.24, é apresentado o circuito equivalente ideal do amplificador inversor.

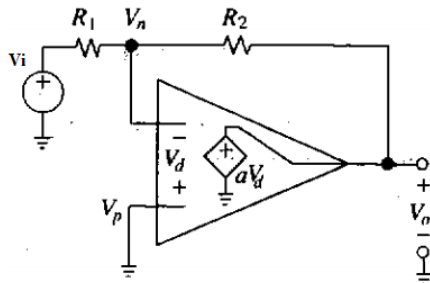


Figura 4.23 - Circuito ideal do amp. inversor. [1]

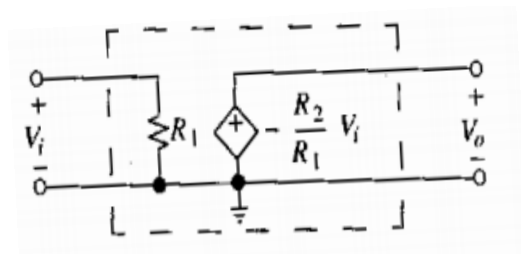


Figura 4.24 - Circuito equivalente ideal do amp. inversor. [1]

As resistências R1 e R2 utilizadas neste circuito tem o valor de 5.1KΩ e foram utilizadas nas configurações dos amplificadores operacionais.

O ganho de tensão A (aV_d) nas Figura 4.23 e Figura 4.24 é dado pela seguinte fórmula (4):

$$A = -\frac{R_2}{R_1} \quad (4)$$

Pode-se então determinar o ganho de tensão aplicado a este circuito.

$R_1=5,1 \text{ K}\Omega$ e $R_2=5.1 \text{ K}\Omega$

$$A = -\frac{R_2}{R_1} \quad A = -\frac{5.1}{5.1} \quad A = -1.$$

A necessidade da introdução de um sensor de temperatura no interior do quadro de controlo da máquina, não está diretamente interligada com a leitura dos diferentes eixos, mas como uma forma de controlo de temperatura interna do mesmo. Com a informação deste sensor podem-se prever ou detetar possíveis avarias. O sensor escolhido foi o LM35, visível na Figura 4.25.

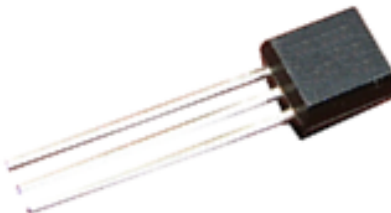


Figura 4.25 - Sensor de temperatura LM35. [18]

O funcionamento do circuito na Figura 4.22 caracteriza-se pelo seguinte:

Os diferentes comuns do circuito estão interligados. O transformador, na saída, apresenta uma tensão de 12 Vd.c., utilizada de duas formas distintas:

1. Alimentação da plataforma Arduino. Embora os 12 Vd.c. possam alimentar a plataforma Arduino sem nenhuma conversão de níveis é necessário reduzir o valor de tensão para proteção e prevenção de problemas da plataforma Arduino;
2. Alimentação da entrada V_{cc}^+ dos ampops com o valor unitário de 5 Vd.c. posteriormente aos 12 Vd.c. sofrerem uma conversão de níveis no regulador L7805.

Os amplificadores operacionais uA741 são utilizados como circuito linear com a configuração de amplificador inversor. O valor dos diferentes eixos das máquinas CNC tem uma tensão que varia entre os -10 Vd.c. e 10 Vd.c..

Os pinos sete (V_{cc}^+) e quatro (V_{cc}^-) dos ampops tem na sua entrada os valor de 5 Vd.c. e 0 V. O pino três, entradas não-inversoras, estão ligados aos comuns dos circuitos.

Na Figura 4.26 é visível o circuito equivalente do aampop com uma resistência de entrada diferencial r_d , o ganho de tensão a , e a resistência de saída de r_o . Para o amplificador operacional utilizado uA741 o valor de r_d , a e r_o , são os seguintes:

- $r_d \approx 2M\Omega$
- $a \approx 200.000$
- $r_o \approx 75\Omega$

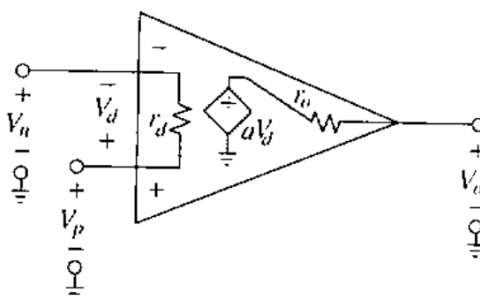


Figura 4.26 - Circuito equivalente do aampop. [1]

Na demonstração matemática seguinte (5) é apresentada, através das leis dos nós, a função de saída V_{out} em função de V_{in} (cálculo considerando o amplificador operacional alimentado simetricamente). A demonstração é representativa do circuito da Figura 4.27.

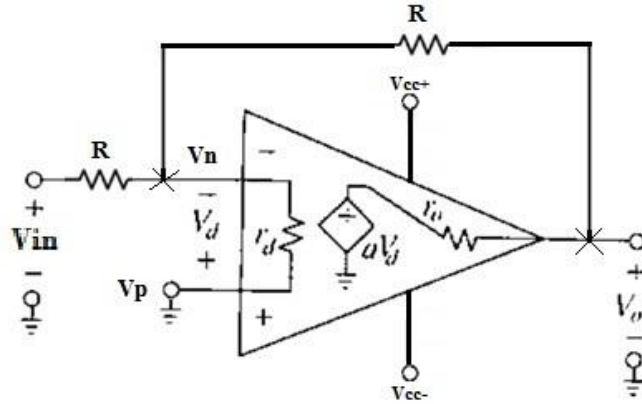


Figura 4.27 - Circuito equivalente ao implementado – Considerando-se alimentação simétrica.

Usando a leis dos nós (soma das correntes é nula).

Os nós estão assinalados no circuito da Figura 4.27 por um “X”.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_n - V_i}{R} + \frac{V_n - V_o}{R} + \frac{V_n - V_p}{r_d} = 0 \\ V_d = V_p - V_n \\ V_p = 0 \\ \frac{V_o - V_n}{R} + \frac{V_o - aV_d}{r_o} = 0 \end{array} \right. \Leftrightarrow (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_n \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{r_d} \right) = \frac{V_i}{R} + \frac{V_o}{R} \\ \frac{(V_o - V_n)}{R} + \frac{V_o + aV_n}{r_o} = 0 \end{array} \right. \Leftrightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{r_o(V_o - V_n)}{R \cdot r_o} + \frac{R(V_o + aV_n)}{R \cdot r_o} = 0 \end{array} \right. \Leftrightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (aR - r_o)V_n = -V_o(ro + R) \end{array} \right. \Leftrightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_n = \frac{1}{R} (V_i + V_o) * \frac{1}{\frac{2}{R} + \frac{1}{r_d}} \\ V_n = -V_o \frac{(ro + R)}{ar - ro} \end{array} \right. \Leftrightarrow$$

$$\left\{ \frac{1}{R} (V_i + V_o) * \frac{1}{\frac{2}{R} + \frac{1}{r_d}} = -V_o \frac{(r_o + R)}{aR - r_o} \right\} \Leftrightarrow$$

$$\frac{\frac{1}{R}}{\frac{2}{R} + \frac{1}{r_d}} * V_i = -\frac{\frac{1}{R}}{\frac{2}{R} + \frac{1}{r_d}} V_o - V_o \frac{(r_o + R)}{aR - r_o} \Leftrightarrow$$

$$-\frac{\frac{1}{R}}{\frac{2}{R} + \frac{1}{r_d}} V_i = \left(\frac{\frac{1}{R}}{\frac{2}{R} + \frac{1}{r_d}} + \frac{r_o + R}{aR - r_o} \right) * V_o \Leftrightarrow$$

$$V_o = -V_i * \frac{\frac{1}{R}}{\frac{2}{R} + \frac{1}{r_d}} * \frac{1}{\frac{\frac{1}{R}}{\frac{2}{R} + \frac{1}{r_d}} + \frac{r_o + R}{aR - r_o}} \Leftrightarrow$$

Como $a \rightarrow +\infty$

$r_d \rightarrow +\infty$

$r_o \rightarrow 0$

$$V_o = -V_i \frac{\frac{1}{R}}{\frac{2}{R} + 0} * \frac{1}{\frac{\frac{1}{R}}{\frac{2}{R} + 0} + 0} = -V_i \frac{1}{2} * \frac{1}{\frac{1}{2}} = -V_i \frac{1}{2} * 2 = -V_i$$

$$V_o = -V_i$$

Com a demonstração matemática anterior, verifica-se que V_{out} é igual a $-V_{in}$. No entanto como no circuito não foi usada alimentação simétrica nem criada uma massa virtual a relação não se mantém. Após análise laboratorial constatou-se uma relação diferente, ou seja $V_o = -V_i + b$, com b a ter de ser determinado experimentalmente.

Na Figura 4.28 é apresentado o circuito da Figura 4.22 em testes laboratoriais. Ao canal CH1 foi ligado o sinal de entrada (V_{in}) e ao canal CH2 a saída do circuito (V_{out}). A função de transferência apresentada na Figura 4.29 correspondente às medições efetuadas neste circuito.

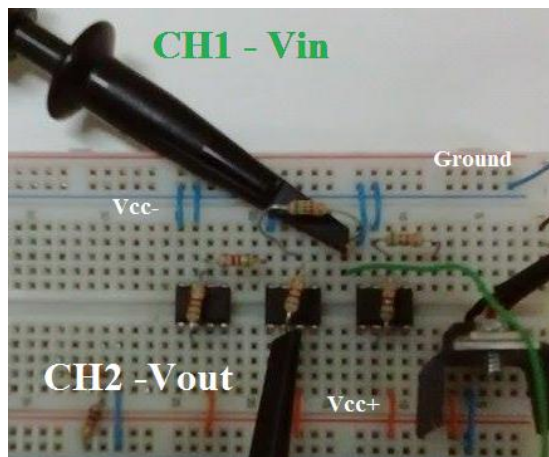


Figura 4.28 - Circuito implementado em laboratório.

O sinal de entrada (V_{in}) foi obtido com recurso a um gerador de sinais, tendo sido aplicada uma tensão sinusoidal com a frequência de 17.55Hz e com a amplitude de cerca de 20 Vd.c. pico a pico, correspondente aos valores máximos de movimento dos eixos da máquina.

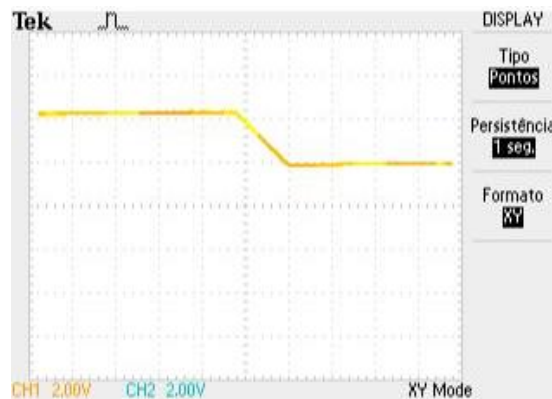


Figura 4.29 - Função de Transferência
CH1 2.00V/div CH2 2.00V/div

Nas Figura 4.30 e Figura 4.31 é visível as formas de onda da entrada/saída do circuito com diferentes escalas de divisão por canal. A onda sinusoidal do canal CH1, recria /representa um movimento típico de um dos eixos da máquina CNC.

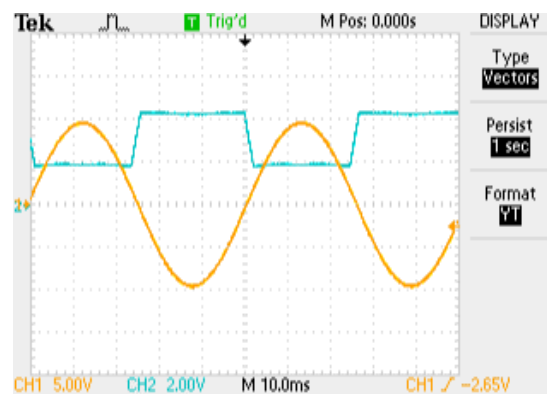


Figura 4.30 - Formas de onda da entrada/saída.
CH1 5.00V/div CH2 2.00V/div

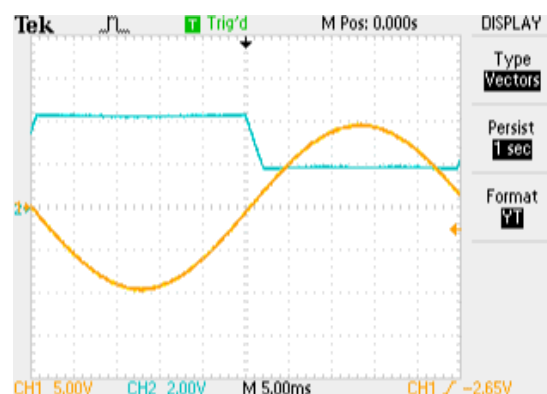


Figura 4.31 - Formas de onda da entrada/saída.
CH1 5.00V/div CH2 2.00V/div

A relação de tensão da saída (V_{out}) do circuito implementado em função de tensão de entrada V_{in} (semiciclo positivo) é visível nas Figura 4.32;Figura 4.33;Figura 4.34;Figura 4.35 eFigura 4.36.

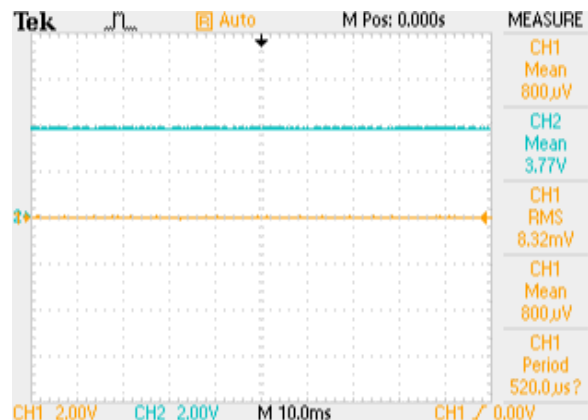


Figura 4.32 - $V_{in}=800\mu V \approx 0 V$
 $V_{out}=3.77 V_{d.c.}$
 CH1 2.00 V/div CH2 2.00 V/div

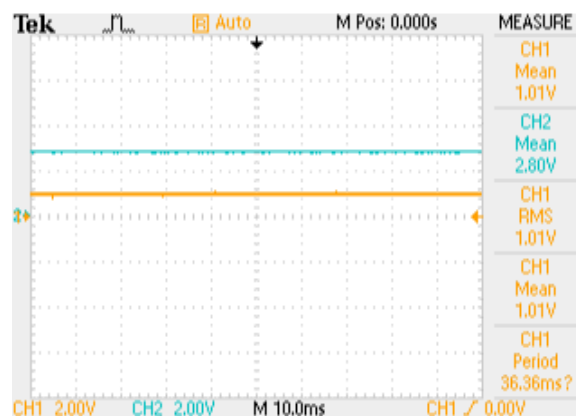


Figura 4.33 - $V_{in}=1.01 V_{d.c.}$
 $V_{out}=2.80 V_{d.c.}$
 CH1 2.00 V/div CH2 2.00 V/div

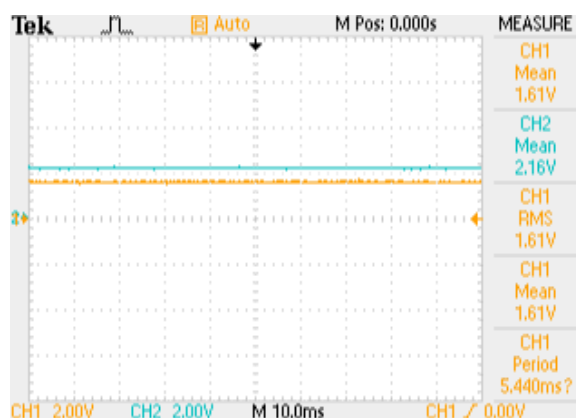


Figura 4.34 - $V_{in}=1.61 V_{d.c.}$
 $V_{out}=2.16 V_{d.c.}$
 CH2 2.00 V/div CH1 2.00 V/div

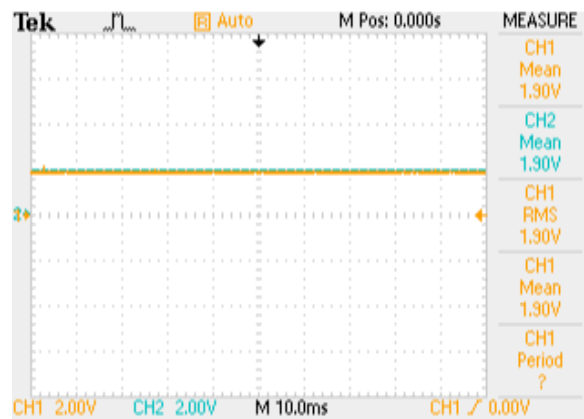


Figura 4.35 - $V_{in}=1.90$ Vd.c.
 $V_{out}=1.90$ Vd.c.
 CH1 2.00 V/div CH2 2.00 V/div

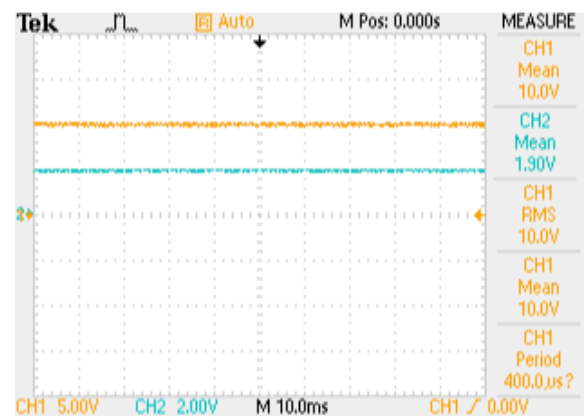


Figura 4.36 - $V_{in}=10.0$ Vd.c.
 $V_{out}=1.90$ Vd.c.
 CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

A relação de tensão da saída (V_{out}) do circuito em função de tensão de entrada V_{in} (semiciclo negativo) é visível nas Figura 4.37;Figura 4.38;Figura 4.39 eFigura 4.40.

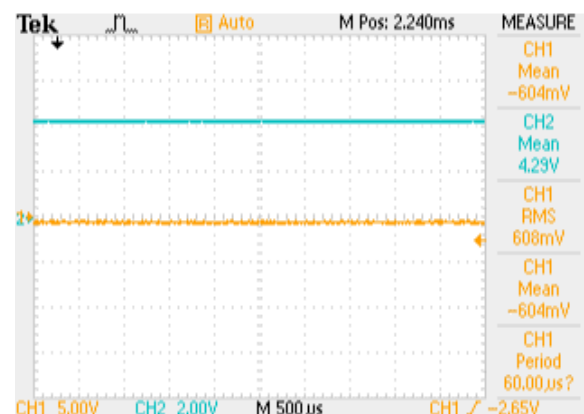


Figura 4.37 - $V_{in}=-604$ mV.
 $V_{out}=4.29$ Vd.c.
 CH15.00 V/div CH2 2.00 V/div

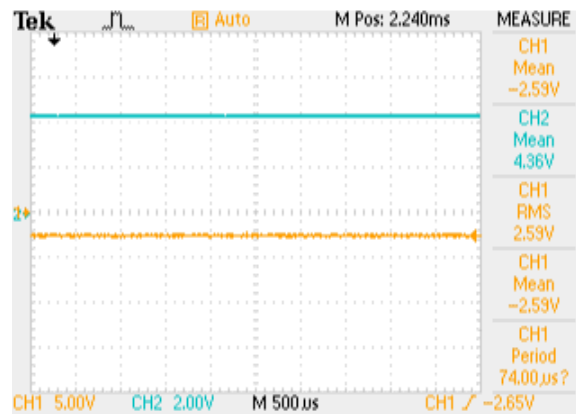


Figura 4.38 - $V_{in} = -2.59$ Vd.c.
 $V_{out} = 4.36$ Vd.c.
 CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

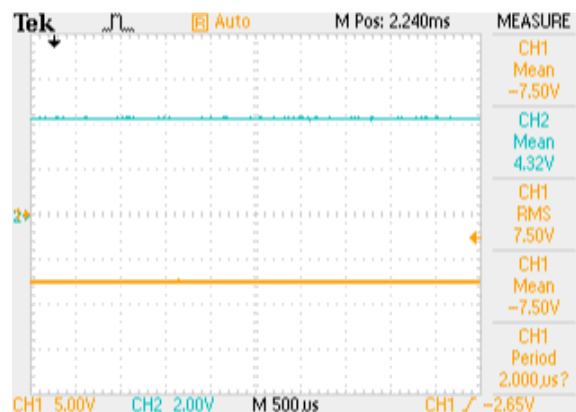


Figura 4.39 - $V_{in} = -7.50$ Vd.c.
 $V_{out} = 4.32$ Vd.c.
 CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

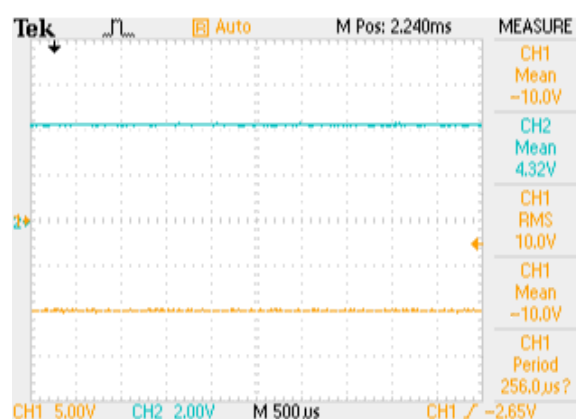


Figura 4.40 - $V_{in} = -10.0$ Vd.c.
 $V_{out} = 4.32$ Vd.c.
 CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

Resumindo o comportamento: quando um eixo se encontra parado (0 Vd.c. na saída X, Y, Z) a tensão à saída do amplificador operacional (entrada do Arduino) é aproximadamente $V_{out} = 3.7$ Vd.c..

Se a máquina tiver um movimento à velocidade máxima no sentido indireto (-10 Vd.c.), a tensão de saída do amplificador operacional será aproximadamente: $V_{out}=4.3V_{d.c.}$. Pelo contrário, se a máquina tem um movimento à velocidade máxima no sentido direto (10 Vd.c.), a tensão de saída do amplificador operacional será aproximadamente: $V_{out}=1.9 V_{d.c.}$.

Da Figura 4.35 sabe-se que a saturação do limite superior de tensão do ampop ocorre rapidamente. Esta saturação corresponde a um movimento dos eixos no sentido negativo (semiciclo negativo na tensão de entrada).

Apesar de a saturação superior ocorrer rapidamente a variação de tensão na entrada em torno de zero no sentido negativo é detetável, permitindo à plataforma Arduino a deteção desta variação. A plataforma Arduino converte o valor analógico de tensão nas suas entradas (0 a 5Vd.c.), num valor digital inteiro compreendido entre 0 e 1023 $V_{digital} = V_{out} * 1023 / 5$. Vejamos o limite de saturação no sentido negativo dos eixos (Tabela 9).

Tensão Vin Semiciclo negativo	Tensão Vout Entrada do ADC do Arduino	Valor digital no Arduino (Vdigital)
0 V	3.77 Vd.c.	771
-604 mV	4.29 Vd.c.	877
-2.59 Vd.c.	4.36 Vd.c.	892
-7.5 Vd.c.	4.32 Vd.c.	883
-10 Vd.c.	4.32 Vd.c.	883

Tabela 9 - Tensão de Vout em função de Vin (G=1).

A amplitude detetável (Vout) em torno de zero correspondente ao sentido negativo dos eixos é de aproximadamente 600 mV. Este valor de tensão corresponde a uma variação do valor digital na plataforma Arduino de aproximadamente 122 unidades (zona linear).

A “janela” de tensões correspondente ao movimento positivo dos eixos, bem como o limite de saturação inferior são visíveis na Tabela 10. O valor $V_{in}=2.60 V_{d.c.}$, $V_{out}=1.90 V_{d.c.}$ foi medido em laboratório não tendo sido efetuado o registo da imagem.

Tensão Vin Semiciclo positivo	Tensão Vout Entrada do ADC do Arduino	Valor digital no Arduino (Vdigital)
0 V	3.77 Vd.c.	771
1.01 Vd.c.	2.80 Vd.c.	572
1.61 Vd.c.	2.16 Vd.c.	441
1.90 Vd.c.	1.90 Vd.c.	388
2.60 Vd.c.	1.90 Vd.c.	388
10 Vd.c.	1.90 Vd.c.	388

Tabela 10 - Tensão de VoutA0 em função de Vin (G=1).

A amplitude detetável em torno de zero correspondente ao sentido positivo dos eixos verifica-se que a saturação dos limites inferiores não ocorre tão rapidamente quando comparada com a do sentido do movimento negativo dos eixos.

A saturação inferior permite uma variação de tensão na saída da configuração inversora ainda mais significativa, permitindo à plataforma Arduino a deteção desta variação de forma mais efetiva. A amplitude final da janela de tensões correspondente ao sentido positivo dos eixos é de aproximadamente 1.87 Vd.c.. Este valor de tensão corresponde a uma variação do valor digital na plataforma Arduino de aproximadamente 382 unidades.

Visível na Figura 4.41 é a curva de transferência correspondente a configuração inversora de ganho unitário (retirada do osciloscópio em laboratório). Uma pequena alteração do valor V_{in} positiva ou negativa corresponde a uma alteração de tensão significativa na saída V_{out} .

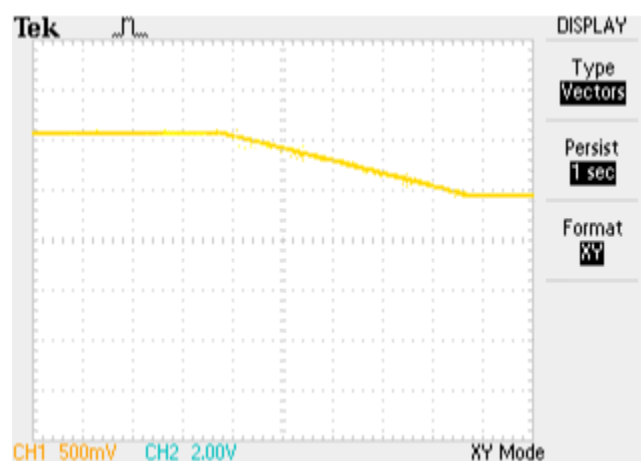


Figura 4.41 - Função de Transferência
CH1 500mV/div CH2 2.00V/div

Esta alteração de tensão significativa ocorre devido ao declive acentuado da função de transferência, provocada pelo ganho unitário. Assim uma pequena alteração na tensão de referência dos eixos da máquina (exemplo: acabamento de precisão) provoca uma variação de tensão aos terminais da plataforma de controlo. Esta variação é interpretada pela plataforma Arduino como indicação de movimentação de eixos.

Na Figura 4.42 é apresentado o declive da reta da função de transferência com ganho unitário. Esta reta foi obtido com recurso aos valores nas figuras analisadas anteriormente (Figura 4.32 aFigura 4.40).

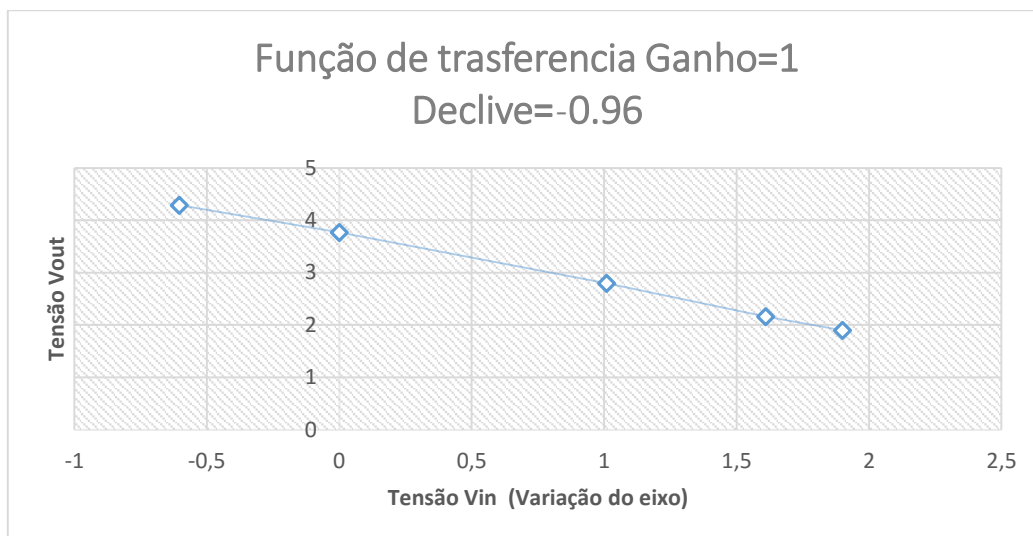


Figura 4.42 - Função de Transferência Ganho=1 Declive=-0.96.

Na expressão matemática (6) é representado o comportamento da função de transferência para o circuito com ganho unitário teórico. O Vdig corresponde ao valor digital obtido no programa C++ após a conversão pelo ADC na plataforma Arduino.

$$\begin{cases} V_{in} < -0,60; V_{out} = 4,30V_{d.c.} \\ V_{in} > 1,90; V_{out} = 1,90V_{d.c.} \\ V_{out} = -0,96V_{in} + 3,77 \\ V_{dig} = \text{Inteiro} \frac{V_{out} \cdot 1023}{5} \end{cases} \quad (6)$$

As escolhas das resistências R1 e R2 de 5.1 KΩ, torna o ganho do amplificador operacional unitário. Este ganho foi tido em conta e analisado a quando do desenvolvimento da configuração inversora. Os limites de saturação deste circuito são as seguintes tensões:

Limite superior — 4.32 Vd.c. Limite inferior — 1.90 Vd.c.

No decorrer do projeto Tracker não foram testados ganhos superiores ao unitário.

No circuito da Figura 4.22, as resistências utilizadas para a obtenção do ganho unitário foram de 5.1 KΩ. Posteriormente a elaboração deste circuito foi testado o mesmo (com ganho unitário), utilizando resistências de 10 KΩ. O circuito apresentado na Figura 4.22 comporta-se de igual forma, apresentando o mesmo valor de Vout perante o mesmo Vin. Também os limites de saturação do ampop se mantem. Ambos os valores das resistências utilizados são padronizados. Não existe nenhuma razão em especial para a utilização das resistências de 5.1 KΩ ao invés das 10 KΩ. Não foram testados ganhos com valores inferiores ao unitário na máquina.

No entanto foi testado em laboratório o circuito com a configuração inversora com um ganho inferior ao unitário (ganho de 0.5). Um ganho inferior ao unitário traduz-se num declive da função de transferência menos acentuado, comparativamente ao do ganho unitário.

Na Figura 4.43 é visível a função de transferência correspondente ao circuito com um ganho de 0.5 com diferentes escalas de divisão por canal. As figuras foram obtidas em medições efetuadas em laboratório com recurso a um gerador de sinais. O gerador de sinais simula uma onda sinusoidal (V_{in}), com a frequência de 17.55Hz e com amplitude de cerca de 20 Vd.c. pico a pico, correspondente aos valores máximos de movimento dos eixos da máquina.



Figura 4.43 - Função de Transferência.

CH1 5.00V/div CH2 2.00V/div

Nas Figura 4.44 e Figura 4.45 é visível as formas de onda da entrada/saída do circuito (ganho de 0.5) com diferentes escalas de divisão por canal. A onda sinusoidal do canal CH1, recria/representa um movimento típico de um dos eixos da máquina CNC.

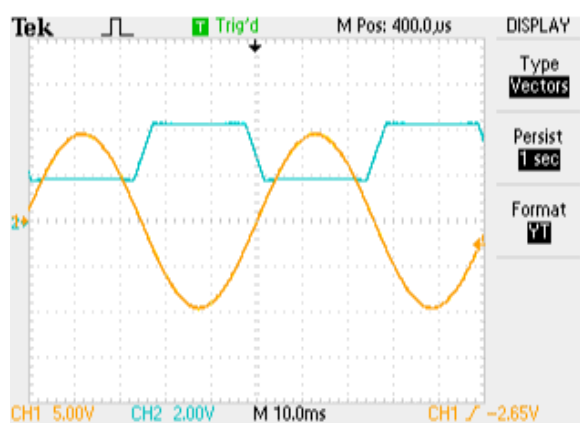


Figura 4.44 - Formas de onda da entrada/saída.

CH1 5.00V/div CH2 2.00V/div

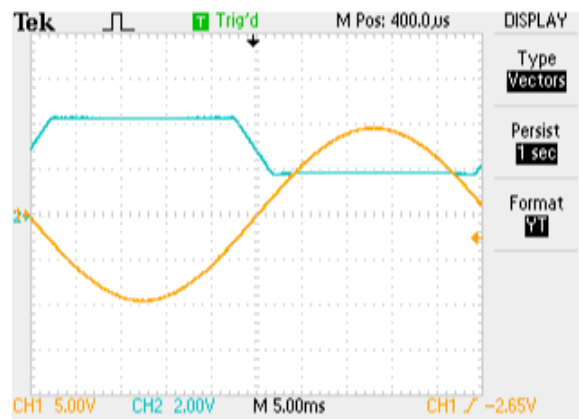
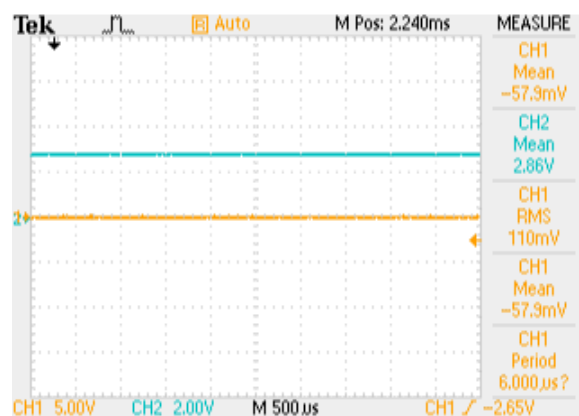


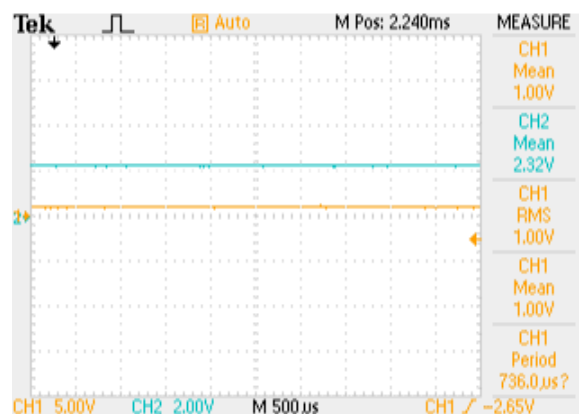
Figura 4.45 - Formas de onda da entrada/saída.

CH1 2.00V/div CH2 2.00V/div

A relação de tensão da saída (V_{out}) do circuito testado em laboratório ($g=0.5$) em função de tensão de entrada V_{in} no semiciclo positivo é visível nas Figura 4.46;Figura 4.47;Figura 4.48; Figura 4.49;Figura 4.50;Figura 4.51 eFigura 4.52.

Figura 4.46 - $V_{in} = -57.9 \text{ mV} \approx 0 \text{ V}$ $V_{out} = 2.86 \text{ Vd.c.}$

CH1 5.00V/div CH2 2.00V/div

Figura 4.47 - $V_{in} = 1.0 \text{ Vd.c.}$ $V_{out} = 2.32 \text{ Vd.c.}$

CH1 5.00V/div CH2 2.00V/div

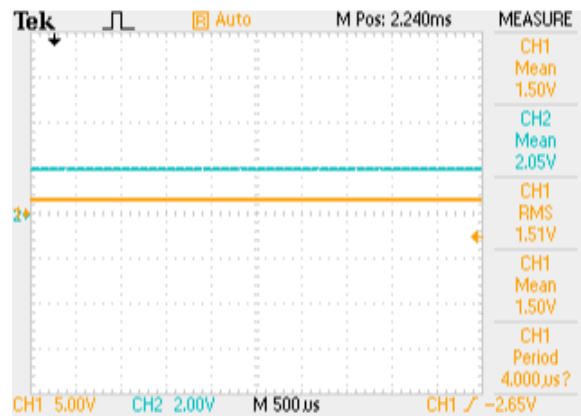


Figura 4.48 - $V_{in}=1.50$ Vd.c.
 $V_{out}=2.05$ Vd.c.
 CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

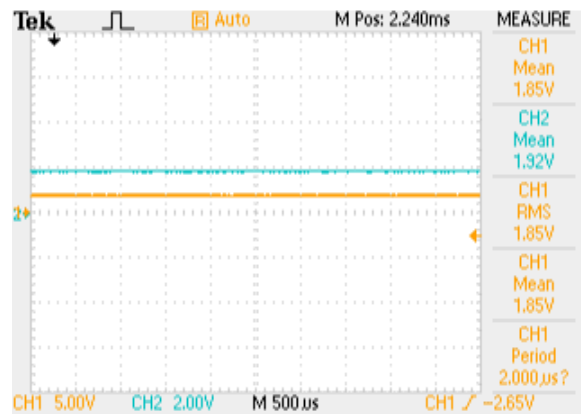


Figura 4.49 - $V_{in}=1.85$ Vd.c.
 $V_{out}=1.92$ Vd.c.
 CH1 5.00V/div CH2 2.00V/div

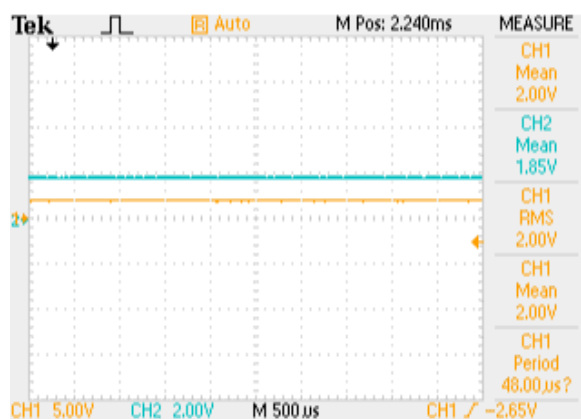


Figura 4.50 - $V_{in}=2.00$ Vd.c.
 $V_{out}=1.85$ Vd.c.
 CH1 5.00V/div CH2 2.00V/div

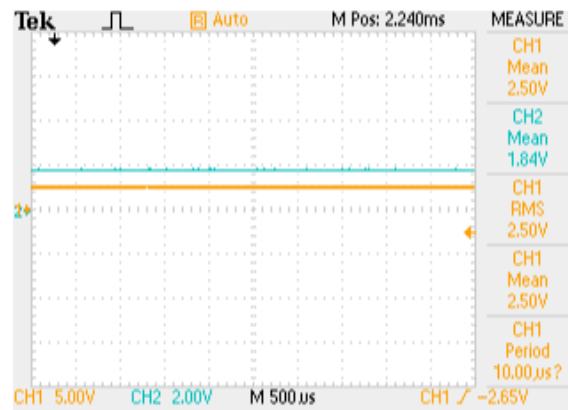


Figura 4.51 - $V_{in}=2.50$ Vd.c.
 $V_{out}=1.84$ Vd.c.
 CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

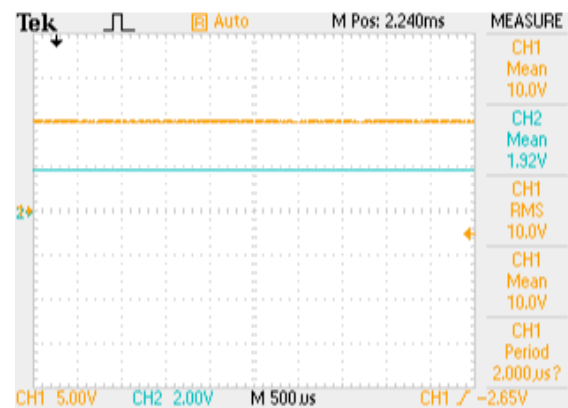


Figura 4.52 - $V_{in}=10.0$ Vd.c.
 $V_{out}=1.92$ Vd.c.
 CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

A relação de tensão da saída (V_{out}) do circuito testado em laboratório em função de tensão de entrada V_{in} no semiciclo negativo é visível nas Figura 4.53;Figura 4.54;Figura 4.55;Figura 4.56;Figura 4.57 eFigura 4.58.

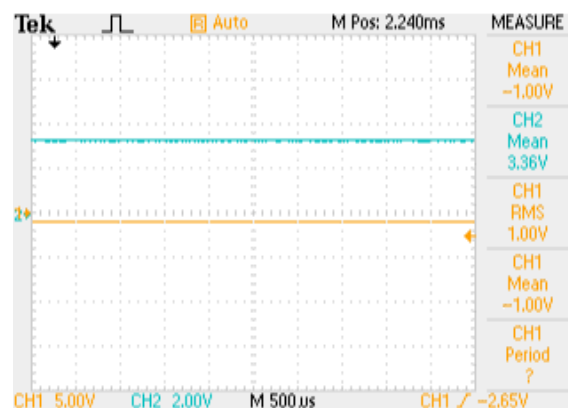


Figura 4.53 - $V_{in}=-1.00$ Vdc
 $V_{out}=3.36$ Vd.c.
 CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

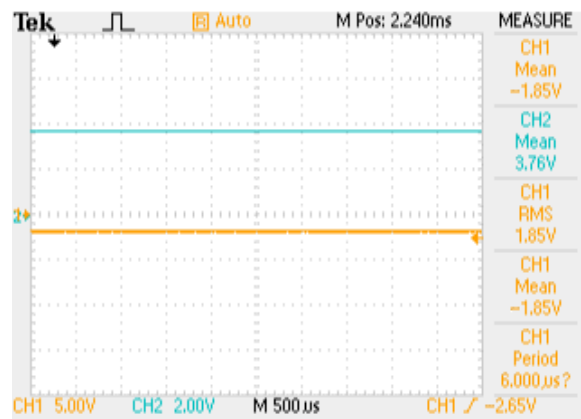


Figura 4.54 - $V_{in} = -1.85$ Vd.c.
 $V_{out} = 3.76$ Vd.c.
 CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

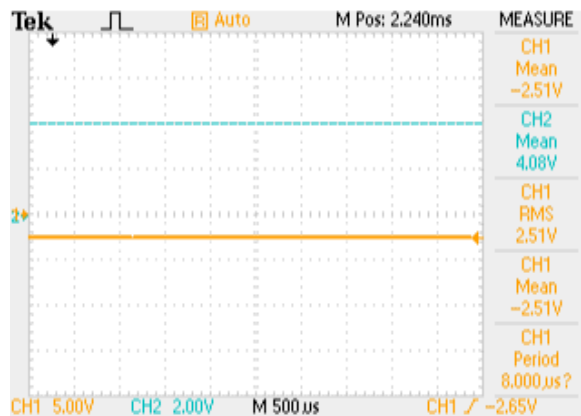


Figura 4.55 - $V_{in} = -2.51$ Vd.c.
 $V_{out} = 4.08$ Vd.c.
 CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

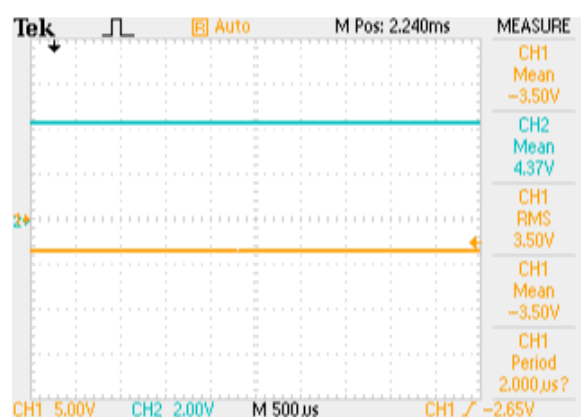
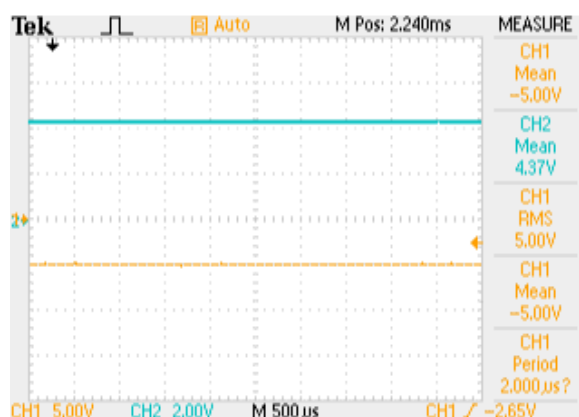
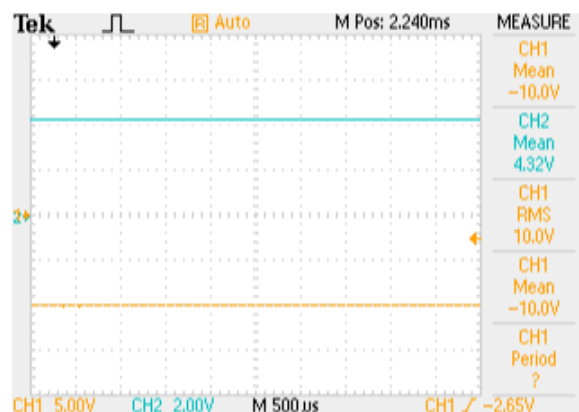


Figura 4.56 - $V_{in} = -3.50$ Vd.c.
 $V_{out} = 4.37$ Vd.c.
 CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

Figura 4.57 - $V_{in} = -5.00$ Vd.c. $V_{out} = 4.37$ Vd.c.

CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

Figura 4.58 - $V_{in} = -10.0$ Vd.c. $V_{out} = 4.32$ Vd.c.

CH1 5.00 V/div CH2 2.00 V/div

Análise: a saturação dos limites superiores e inferiores não ocorre tão rápido comparativamente ao circuito de ganho unitário. Vejamos as variações de tensões V_{out} em função de V_{in} . Na Tabela 11 - Tensão de V_{out} em função de V_{in} ($G=0.5$). são apresentados os limites de saturação aquando o sentido de movimento é negativo.

Tensão V_{in} Semiciclo negativo	Tensão V_{out} Entrada do ADC do Arduino	Valor digital no Arduino ($V_{digital}$)
0 V	2.86 Vd.c.	585
-1.00 Vd.c.	3.36 Vd.c.	687
-1.85 Vd.c.	3.76 Vd.c.	769
-2.51 Vd.c.	4.08 Vd.c.	834
-3.50 Vd.c.	4.37 Vd.c.	894
-5.00 Vd.c.	4.37 Vd.c.	894
-10.0 Vd.c.	4.32 Vd.c.	883

Tabela 11 - Tensão de V_{out} em função de V_{in} ($G=0.5$).

A amplitude detetável (V_{out}) em torno de zero correspondente ao sentido negativo dos eixos é de aproximadamente 1.46 Vd.c.. Este valor de tensão corresponde a uma variação do valor digital na plataforma Arduino de aproximadamente 298 unidades (zona linear).

A janela de tensões correspondente ao movimento positivo dos eixos, bem como o limite de saturação inferior são visíveis na Tabela 12 - Tensão de X_{outA0} em função de V_{in} ($G=0.5$). O valor $V_{in}=7.50$ Vd.c., $V_{out}=1.92$ Vd.c. foi medido em laboratório não tendo sido efetuado o registo da imagem.

Tensão V_{in} Semiciclo negativo	Tensão V_{out} Entrada do ADC do Arduino	Valor digital no Arduino ($V_{digital}$)
0 V	2.86 Vd.c.	585
1.00 Vd.c.	2.32 Vd.c.	474
1.50 Vd.c.	2.05 Vd.c.	419
1.85 Vd.c.	1.92 Vd.c.	392
2.00 Vd.c.	1.85 Vd.c.	378
2.50 Vd.c.	1.84 Vd.c.	376
7.50 Vd.c.	1.92 Vd.c.	392
10.0 Vd.c.	1.92 Vd.c.	392

Tabela 12 - Tensão de X_{outA0} em função de V_{in} ($G=0.5$).

A amplitude final da janela de tensões (V_{out}) correspondente ao sentido positivo dos eixos é de aproximadamente 940 mV. Este valor de tensão corresponde a uma variação do valor digital na plataforma Arduino de aproximadamente 192 unidades.

Na Figura 4.59 é apresentada a relação de transferência da configuração inversora de ganho 0.5. Nesta é possível verificar que uma pequena alteração do valor V_{in} corresponde a uma alteração de tensão na saída V_{out} , não tão relevante quando comparada com a relação de transferência de ganho unitário. Isto está diretamente interligado com o declive da função de transferência. No entanto os níveis de saturação superior e inferior do ampop uA741 mantem-se, sendo limitados superiormente por 4.37Vd.c e inferiormente por 1.92 Vd.c..

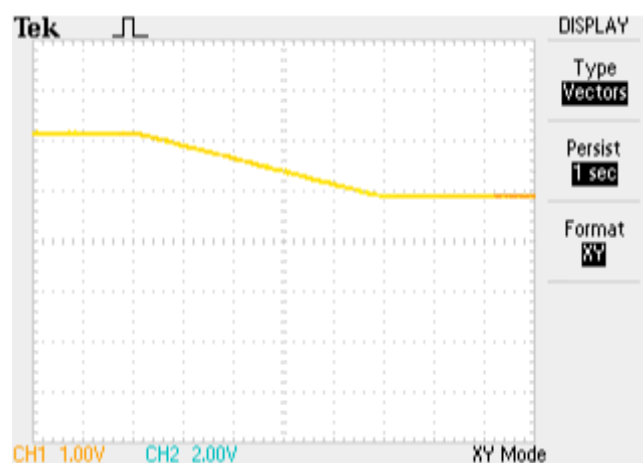


Figura 4.59 - Função de Transferência $G=0.5$.

CH1 1.00V/div CH2 2.00V/div

Recorrendo ao exemplo anterior uma pequena alteração na tensão de referência dos eixos da máquina (exemplo: acabamento de precisão) provoca uma pequena variação de tensão aos terminais da plataforma de controlo. Embora a “janela” de tensões seja aproximadamente igual à anterior, o declive é inferior. Assim para um $V_{in} = -600\text{mV}$ o V_{out} da configuração inversora com ganho de 0.5 é aproximadamente 3.1 Vd.c.. Com o ganho unitário o V_{out} para o mesmo V_{in} (-600mV) é aproximadamente 4.29 Vd.c..

Na Figura 4.60 é apresentado o declive da reta da função de transferência com ganho 0.5. Esta reta foi obtida com recurso aos valores das figuras analisadas anteriormente (Figura 4.46 a Figura 4.58).

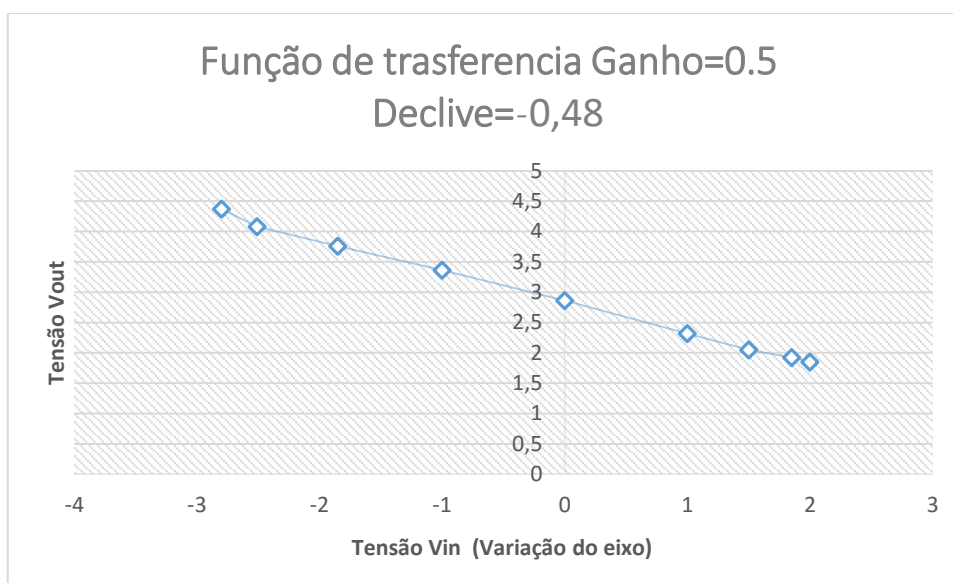


Figura 4.60 - Função de Transferência Ganho=0.5 Declive=-0.48

Na expressão matemática (7) é representado o comportamento da função de transferência para o circuito com ganho de 0.5. obtido no programa C++ após a conversão pelo ADC na plataforma Arduino.

$$\begin{cases} V_{in} < -2.90 ; V_{out} = 4.37\text{Vd.c.} \\ V_{in} > 1.85 ; V_{out} = 1.92\text{Vd.c.} \\ V_{out} = -0.48V_{in} + 2.86 \\ V_{dig} = \text{Inteiro} \frac{V_{out} \cdot 1023}{5} \end{cases} \quad (7)$$

Analisando os prós e os contras dos diferentes declives da relação de transferência entre os circuitos com ganhos diferentes, para este caso teria de ser testado o circuito com ganho inferior ao unitário na máquina para se poderem retirar conclusões.

Não foram realizadas medidas elétricas de forma a perceber qual era a influência do circuito implementado juntamente com a plataforma Arduino nos controladores dos eixos da máquina CNC. Com o ganho unitário o objetivo do projeto Tracker, deteção de maquinação, ficou assegurado face aos resultados práticos apurados no terreno.

No entanto e se fosse necessário uma solução que para além da deteção de movimento dos eixos, fosse necessário saber a variação de velocidade dos eixos e o sentido, um ganho inferior ao unitário, como 0.5, poderia ser o escolhido. O ganho de 0.5 permite uma relação de transferência mais precisa e como mais possibilidades de exploração de informação.

Pequenas variações de tensão após os limites de saturação já terem sido atingidos, podem ser devido a erros de leitura das pinças do osciloscópio (não se encontrarem nas condições ideais).

A necessidade de introduzir um sensor de temperatura no interior do quadro de controlo da máquina, não está diretamente interligada com a leitura dos diferentes eixos, mas como uma forma de controlo de temperatura interna do mesmo. Com esta informação pode-se prever ou detetar possíveis avarias.

O sensor de temperatura LM35, permite saber a temperatura em graus Celsius, com elevada precisão e em tempo real. Com o decorrer do projeto verificou-se que a temperatura no interior do quadro da máquina influencia os valores de tensão da plataforma de controlo.

Com o objetivo de solucionar a variação de tensão na plataforma de controlo, devido à variação de temperatura, o sensor LM35 foi introduzido no projeto Tracker. Este sensor tinha como objetivo final reajustar automaticamente a escala de valores digitais utilizados na programação para a posterior deteção dos diferentes estados.

No entanto com o decorrer da parte experimental do projeto na máquina CNC, acabou por não ser utilizado face à solução final encontrada não necessitar de o utilizar neste sentido – ou seja - optou-se por uma estratégia de programação diferente para a plataforma Arduino.

O circuito apresentado, designado por plataforma de controlo, é responsável pela leitura e transformação adequada dos valores de referência dos diferentes eixos (velocidade e sentido) para a plataforma Arduino. Com o objetivo de garantir o estado em que a máquina se encontra, foi necessário acrescentar sinais extra ao circuito apresentado (Figura 4.22).

4.6.2.2. Observações

O circuito designado por plataforma de controlo, possibilita que na entrada da plataforma Arduino as condições necessárias para a identificação de variação dos eixos estejam reunidas. O circuito apresentado é funcional e tem um custo de implementação baixo. Para além de garantir as condições necessárias na entrada da plataforma Arduino, este caracteriza-se por ser fiável, robusto, de rápida implementação e ocupar pouco espaço, o que se traduz em vantagens. Após os testes executados, procedeu-se a instalação do circuito na máquina. O circuito funcionava de acordo com o planeado. No entanto, e como já referido anteriormente, apenas com este circuito não é possível determinar o estado exato em que a máquina se encontra. Com o propósito da determinação exata do estado em que a máquina se encontra, sinais de controlo retirados de reles do quadro da máquina, foram acrescentados a este circuito. Estes sinais tornam possível a identificação do estado da máquina, de forma exata em qualquer período de tempo. Na secção seguinte, 4.5.3 (circuito final), são descritos quais os sinais necessários e a sua origem.

4.6.3. Circuito Final

Este circuito, que tem como base/ponto de partida o circuito designado por plataforma de controlo tem por objetivo conseguir identificar os estados caracterizados anteriormente, secção 4.3, através da leitura e transformação adequada dos valores de referência dos diferentes eixos, em conjunto com a introdução de novos sinais do quadro de controlo. À semelhança do circuito denominado por plataforma de controlo, os componentes eletrónicos introduzidos, que permitem realizar a conversão de níveis destes sinais são reguladores de tensão L7805, caracterizados por serem de rápida implementação e baixo custo.

Os sinais de controlo necessários para a identificação correta dos diferentes estados são conseguidos, após a “interceção” da saída de diferentes relés responsáveis por ativar e desativar funcionalidades específicas nas máquinas CNCs. No interior dos quadros das máquinas CNCs existem dezenas de relés de controlo. Foi necessário então a identificação da localização de cada um destes relés.

Os relés no interior dos quadros das máquinas CNCs são uma parte fundamental no controlo da máquina CNC. No passado estas máquinas, CNCs, chegavam a ter centenas destes, mas com a introdução de tecnologia mais recente foram sendo substituídos. Mesmo com a evolução tecnológica, nas máquinas mais recentes chegam a estar meia centena de relés no interior dos quadros de controlo. Exemplo de um desses relés é o responsável pela ativação do motor elétrico presente na árvore da máquina CNC. O circuito final apresentado nesta secção segue os princípios base e a lógica de desenvolvimento do circuito desenvolvido na subsecção 4.6.2.1 – plataforma de controlo.

Os relés presentes no interior do quadro da máquina CNC, onde foram obtidos os sinais de controlo necessários ao projeto tem o aspeto real da Figura 4.61.



Figura 4.61 - Relé de atuação. [11]

As características técnicas dos relés no interior dos quadros de controlo das máquinas CNC podem ser analisados na Tabela 13.

Relé da Máquina	Serie 60 60.13
Características dos contatos	
Corrente nominal	10 A
Máxima corrente instantânea	20 A
Tensão nominal V	250 Va.c.
Máxima tensão comutável	400 Va.c.
Características da bobina	
Tensão de alimentação (50/60 Hz)	6 - 12 - 24 - 48 ... 400 Va.c.
Tensão de alimentação	6 - 12 - 24 - 48 ... 250 Vd.c.
Potência nominal (50 Hz) /W	2.2/1.3 AC/DC (VA)
Características gerais	
Vida mecânica AC/DC ciclos	$20 \cdot 10^6 / 50 \cdot 10^6$
Tempo de atuação: operação	11/4 ms
Regime de temperatura ambiente	- 40 até +70 °C

Tabela 13 - Características dos relés presentes nas máquinas.

Tal como descrito no capítulo 4, secção 4.3 (caracterização de estados) para que os diferentes estados sejam identificados corretamente pela plataforma Arduino, é necessário recorrer a diferentes condições e conjugá-las entre si (através de programação), para a validação/verificação de um correto estado.

Neste sentido e para que o estado de Maquinação seja reconhecido, existem duas condições que tem de se verificar: A primeira condição, onde são analisados os movimentos de X,Y,Z. A segunda condição é motor elétrico da árvore ativo.

Para que o estado Maquinação possa ser validado a primeira condição é “recolhida” pelo circuito denominado por plataforma de controlo e verificada pela plataforma Arduino. A segunda condição é adquirida, no contacto da saída do relé, responsável pela ativação ou desativação do motor elétrico presente na árvore da máquina CNC. Se o relé estiver fechado (24 Vd.c.), a informação que é perceptível ao Arduino (posteriormente a conversão de níveis para 5 Vd.c.), é a de que o motor elétrico da árvore está ativo. Se ambas as condições se verificarem é validado o estado Maquinação.

Para que o estado de *Setup* seja validado, existem duas condições que se tem de verificar: A primeira condição e a semelhança da anterior, está relacionada com a deteção de movimento dos eixos X,Y,Z, através das duas plataformas, a de controlo e o Arduino. A segunda condição em oposição ao estado de maquinação, define que o motor elétrico da árvore não pode estar ativo. Esta condição é obtida no contacto da saída do relé, responsável pela ativação ou desativação do motor elétrico presente na árvore da máquina CNC. Se o relé estiver aberto (0V), a informação que é perceptível ao Arduino, é a de que o motor elétrico da árvore não está ativo.

Para que o estado de Paragem seja validado, obrigatoriamente a primeira condição dos estados anteriores não se pode verificar (deteção de movimento nos eixos da máquina). Se o operador permitir que o motor elétrico fique ativo mesmo não existindo movimento em nenhum dos eixos, o estado validado será o de Paragem. No entanto ao projeto Tracker é possível identificar que o motor está ativo mas os eixos não.

Para a definição dos estados anteriores, Maquinação, Paragem e *Setup*, foi necessário recorrer ao sinal de controlo do motor elétrico da árvore presente no quadro interno de controlo da máquina CNC. Este sinal, alterna entre o estado ON e OFF, correspondendo em binário a 1 ou a 0 e eletricamente a 24 Vd.c. ou 0V. Aplicando este princípio ao motor elétrico da árvore, quando a programação CAM indica a sua ativação, o relé correspondente por esta função apresenta na saída uma tensão de 24 Vd.c., correspondendo ao valor binário de 1.

Os estados de emergência, troca tool/ferramenta, transportador ON/OFF, extra curso, foram definidos e são devidamente interpretados pela plataforma Arduino. Por se considerarem estes sinais essenciais para uma melhor compreensão dos estados anteriores, o estado destes é guardado numa base de dados, conjuntamente com os três principais estados descritos anteriormente.

Vejamos o exemplo da sua importância: se a máquina estiver parada será possível identificar se é uma paragem comum, uma paragem devido a ultrapassagem do valor máximo de movimento num sentido de um dos eixos ou uma paragem de emergência.

Outro exemplo é a verificação do transportador de limalha. Se este não estiver ativo a quando o estado de Maquinação então uma acumulação de limalha nos diferentes eixos é possível, podendo provocar uma avaria nos eixos bem como possíveis encravamentos de transportadores de limalha. Portanto a informação recolhida destes sinais, é essencial para melhor compreender os principais estados (Maquinação, *Setup* e Paragem).

A quando a descrição dos diferentes estados para validação de Maquinação foi redigido o seguinte “Se o relé estiver fechado (24 Vd.c.), a informação que é perceptível ao Arduino (posteriormente a conversão de níveis para 5 Vd.c.) é a de que o motor elétrico da árvore está ativo.” Esta afirmação permite saber que os sinais “recolhidos” nas saídas dos relés tem um valor de tensão demasiado elevado para as entradas da plataforma Arduino. A tensão de saída dos relés, 24 Vd.c., necessita de sofrer uma conversão de níveis para o valor de 5 Vd.c.. Com esse intuito um regulador de tensão 7805 antecedido por um divisor de tensão, realizam a conversão dos diferentes sinais garantindo-se os 5 Vd.c. nas entradas da plataforma Arduino.

É importante referir que através do correto dimensionamentos do valor das resistências R1 e R2 (Figura 4.62) é possível obter o valor de tensão 5 Vd.c. na saída Vout (ponto intermédio do divisor de tensão).

A escolha de duas resistências iguais, dividindo a tensão V_{in} a metade, e a inclusão de um regulador de tensão 7805 na saída V_{out} do divisor de tensão, justifica-se por flutuações de tensão existente no módulo SIEMENS SIMODRIVE 611 de controlo da máquina.

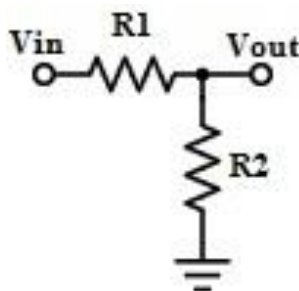


Figura 4.62 - Divisor de tensão.

Por se tratarem de componentes de controlo com eletrónica de potência incorporada, estão protegidos contra sobretensões momentâneas e pequenos curto-circuitos. A plataforma Arduino não permite que nas entradas, analógicas e digitais, sejam ultrapassados os 5 Vd.c.. No caso das entradas analógicas a gama de leitura de valores permitida tem uma amplitude de 5 Vd.c.. No caso das entradas digitais a consideração do estado *HIGH* ou *LOW*, é dependente do nível de tensão presente na entrada digital. Para que a consideração do estado *High* seja validada a tensão na entrada deve ser de pelo menos de 3.3 Vd.c.. O intervalo de leitura entre a consideração do estado *High* e a limitação de tensão de 5 Vd.c. são 1.7 Vd.c..

Este intervalo é diminuto, considerando que uma sobretensão numa das entradas da plataforma Arduino fará com que esta se danifique.

Com o cálculo de $R1$ e $R2$ é possível obter-se a tensão compreendida neste intervalo, mas é introduzido o fator de risco. Fator de risco porque a plataforma Arduino não fica protegida contra sobretensões (ultrapassagem do valor de tensão máximo permitido nas suas entradas).

Com vista em eventuais sobretensões, previamente identificadas pelo departamento de manutenção da unidade fabril Simoldes Aços, foi introduzido um regulador de tensão L7805 na saída V_{out} do regulador de tensão. Com esta configuração são respeitados os valores de tensão nas entradas da plataforma Arduino.

O circuito final implementado, visível na Figura 4.63, é constituído pela plataforma de controlo em conjunto com pequenos circuitos de conversão de níveis dos diferentes sinais de controlo.

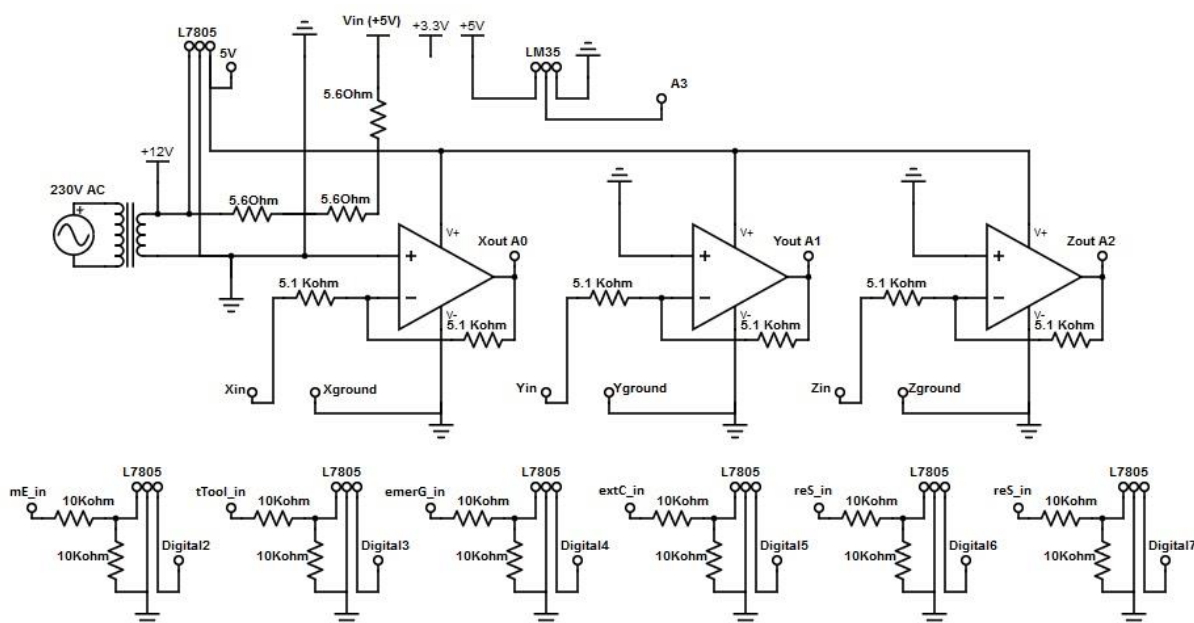


Figura 4.63 - Circuito final implementado.

Os ports analógicos XoutA0, YoutA1, ZoutA2, referentes aos diferentes eixos bem como os circuitos de conversão de níveis dos diferentes sinais de controlo são identificados na Tabela 14. Nesta (Tabela 14) é também descrito os ports utilizados referentes aos sinais, as gamas de tensões envolvidas e diferentes conversões de níveis e componentes utilizados. Na Tabela 14 (Desc. - Descritivo; Qnt – Quantidade).

Tracker	Plataforma Arduino			Condicionamento de sinal					
	Digital	Analog	Porta	IN	OUT	Componentes			
	IN	IN		(VDC)	(VDC)	Qnt	Desc.	Qnt	Desc.
Eixo X - XoutA0	0	1	A0	±10	1,90 até 4,40	1	uA741	2	5,1KΩ
Eixo Y - YoutA1	0	1	A1			1		2	
Eixo Z - ZoutA2	0	1	A2			1		2	
Total	0	3				3	uA741	6	5,1KΩ
Motor Elétrico-mE_in	1	0	D2	24 ou 0	5 ou 0	2	10KΩ	1	L7805
Troca Tool-tTool_in	1	0	D3			2		1	
Emergência-emerg_in	1	0	D4			2		1	
Extra Curso-extC_in	1	0	D5			2		1	
Reserva-reS_in	1	0	D6			2		1	
Reserva-reS_in	1	0	D7			2		1	
Total	6	0				12	10KΩ	6	L7805
Total de Input	9								

Tabela 14 - Descrição de sinais, porto associados, gamas de tensões e componentes.

O esquema na Figura 4.63, representa a plataforma de controlo (circuito que lê e transforma os valores de referência dos diferentes eixos adequadamente), em conjunto com pequenos circuitos de conversão de níveis dos diferentes sinais de controlo.

5. IMPLEMENTAÇÃO NA MÁQUINA DO CIRCUITO FINAL

5.1. Circuito Implementado - Ampops na configuração inversor com sinais de relés.

O circuito implementado, Figura 5.1, reúne um conjunto de necessidades que tinham sido identificadas no início do projeto. O circuito que apresenta uma elevada precisão de leitura de dados permite controlar os diferentes estados das máquinas CNCs. A versatilidade de aplicação em diferentes máquinas com comandos ou quadro de controlo diferentes, o uso de poucos componentes, rápida e prática implementação em conjunto com o diminuto espaço ocupado, fazem deste o circuito ideal para a monitorização dos estados das diferentes máquinas – conforme demonstrado na análise efetuada ao circuito no capítulo 4.

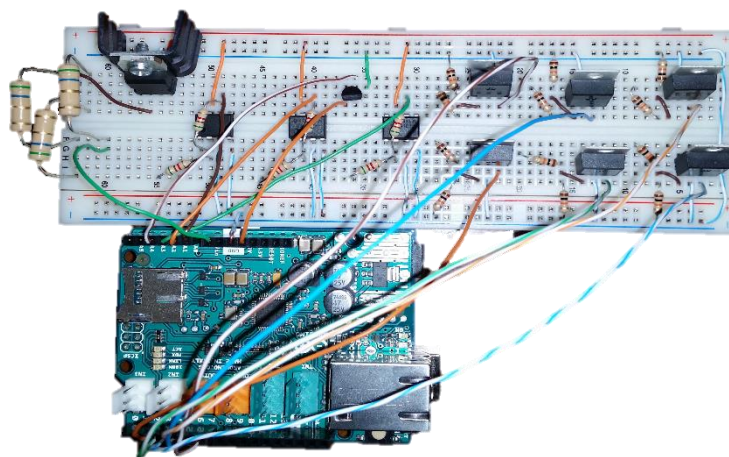


Figura 5.1 - Aspeto real do circuito final já implementado.

5.1.1. Componentes

Os componentes eletrónicos usados neste circuito foram vários. Uma resumida apresentação e caracterização é o suficiente para se compreender a totalidade de componentes utilizados, bem como a sua função no circuito final.

1. Arduíno Mega.

Componente já desenvolvido por companhias industriais, com uma versatilidade elevada em projetos de automação industrial, residencial e lúdica. Tem como função gerir todos os dados resultantes da recolha de sinais e o seu tratamento (através de programação).

2. *Ethernet Shield 2*.

Ethernet Shield 2 é uma solução fiável, que conecta a plataforma Arduíno à rede interna da unidade fabril através de um processo bastante intuitivo, permitindo o envio de informação resultante do tratamento de dados à plataforma Arduíno. À semelhança do componente anterior este também foi desenvolvido por companhias industriais.

3. Transformador FAS12V2AB.

O transformador apresenta uma tensão de entrada de 230 Va.c./50Hz e uma saída de tensão/corrente máxima de 12 Vd.c./ 2000 mA. Este transformador é responsável por alimentar todos os componentes do circuito final.

3. Plataforma de controlo dos diferentes eixos.

Esta plataforma é constituída por 3 ampops uA741 e por 6 resistências de 5.1K Ω .

Para que na plataforma Arduino as condições necessárias para a identificação de variação dos eixos seja possível, os componentes anteriores são responsáveis pela transformação dos valores de tensão de referência dos diferentes eixos (circuito apresentado na Figura 4.22).

4. Reguladores de tensão de gama L78 series.

Os reguladores de tensão utilizados, L7805, apresentam na sua saída uma tensão e corrente máxima de 5 Vd.c. e 1.5 Ampere. Os reguladores L7805 possuem uma proteção de sobrecarga térmica. No entanto foi colocado um dissipador de calor com o objetivo de proteção de sobre carga térmica. A função do L7805 no circuito é a alimentação do pino 7 (VCC+) dos 3 ampops uA741 com 5Vd.c (constantes). Os restantes L7805 estão incorporados nos circuitos de conversão de níveis dos sinais de controlo, provenientes dos relés. Os sinais dos outputs dos reguladores L7805 são direcionados nas entradas digitais do Arduino.

5. Várias resistências.

Os diferentes valores das resistências presentes no circuito (5,1 K Ω /10 K Ω) são associados a diferentes funções. As resistências de 5,1 K Ω , como já previamente referido estão interligadas à configuração dos ampops. As resistências de 10 K Ω estão associadas aos divisores de tensão necessários para a redução de tensão dos diferentes sinais de controlo.

6. Sensor de temperatura (LM35).

O sensor de temperatura LM35 apresenta uma tensão de saída linearmente proporcional à temperatura em graus Celsius. A sua função é o controlo de temperatura no interior do quadro da máquina. Com este sensor a deteção de comportamentos anormais (erros ou avarias) com a subida ou descida da temperatura torna-se possível.

5.1.2. Configuração Utilizada

As configurações utilizadas nas diferentes montagens dos componentes dividem-se em dois grupos principais.

A primeira configuração, plataforma de controlo dos eixos, utiliza os amplificadores operacionais uA741 juntamente com resistências de 5.1 K Ω na configuração de amplificador inversor. A Figura 5.2 representa a montagem anterior referente ao eixo Z.

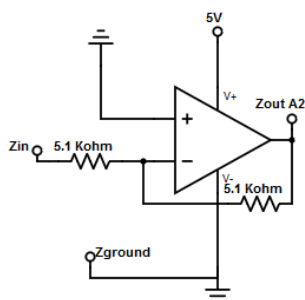


Figura 5.2 - Configuração amplificador inversor.

Visível na Figura 5.2, são as limitações de tensão implementadas no ampop. O ampop está limitado superiormente por uma tensão de 5 Vd.c. e inferiormente por uma tensão de 0 V. Estes valores correspondem aos valores máximos teóricos que podem estar presentes na sua saída. Os eixos X e Y estão de igual forma associados a uma montagem da Figura 5.2.

A segunda configuração, divisor de tensão seguido de um regulador de tensão L7805, é visível na Figura 5.3 (página seguinte). Após o sinal (24 Vd.c.) proveniente dos relés de controlo da máquina é necessário realizar uma conversão de níveis para o valor de tensão 5 Vd.c..

O divisor de tensão, representado pelas duas resistências de 10 K Ω , reduz a tensão ao valor de 12 Vd.c., quando na entrada Vin estão 24 Vd.c.

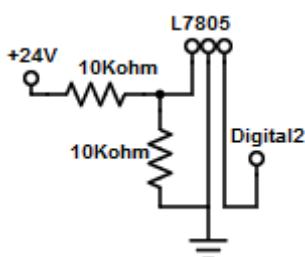


Figura 5.3 - Configuração divisor e regulador de tesnsão.

No ponto intermédio do divisor de tensão (Vout) foi inserido um regulador de tensão L7805, que efetua a conversão de nível de tensão para o valor final de 5 Vd.c..

Os sinais resultantes da leitura e transformação dos valores de referência dos eixos são direcionados para os portos analógicos da plataforma Arduino, bem como a leitura de temperatura resultante do LM35. Na situação dos sinais de controlo (segunda configuração) a saída é direcionada para os portos digitais da plataforma Arduino. O valor de 0 ou 5 Vd.c. (desligado ou ligado) adequa-se à necessidade de identificação do respetivo estado.

A Figura 5.4 apresenta as entradas Vin do circuito, bem como a sua ligação nos portos da plataforma Arduino. São também apresentadas as diferentes gamas de valores envolvidas em cada ligação.

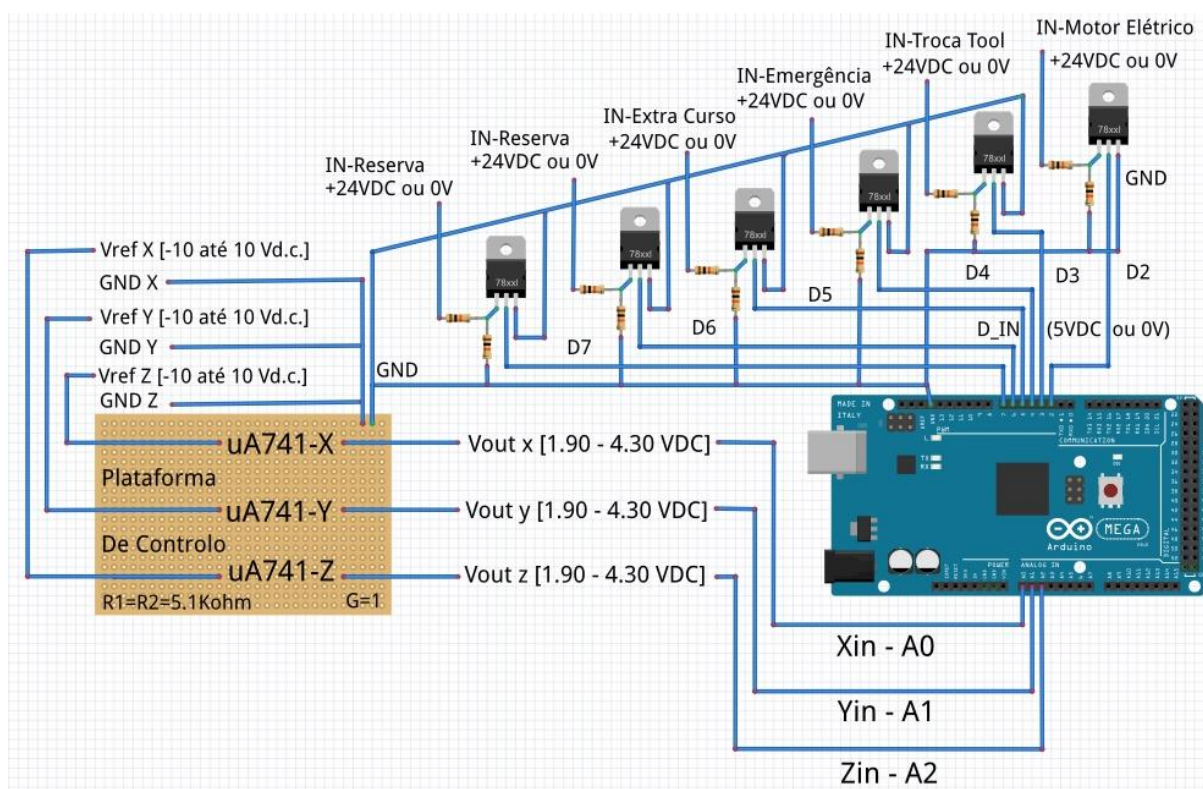


Figura 5.4 - Interligação da máquina CNC com a plataforma Arduino.

5.2. Comportamento Expectável

Por o circuito implementado na máquina possuir poucos componentes os erros que se poderiam acumular quando ocorrem várias transformações e conversões de níveis são evitados. Em testes realizados anteriormente à colocação do circuito no quadro de controlo da máquina é importante realçar os seguintes pontos:

- Os valores dos diferentes eixos variavam entre 1.92 Vd.c. e 4.32 Vd.c., quando simulada a movimentação de um eixo, e o valor aproximado de 3.5 Vd.c., quando simulada a paragem da máquina.
- Os valores dos diferentes sinais de controlo apresentam o valor máximo de 5 V.d.c, estando ativados e valor mínimo de 0V, estando desativados.

Perante estes dados o circuito funciona eletricamente de acordo com o pretendido. A programação para a plataforma Arduino e *Ethernet Shield 2*, foi desenvolvida previamente à colocação do circuito final no quadro de controlo da máquina. A descrição da “lógica” de programação através de um fluxograma é demonstrada no capítulo 6.1.

Como eletricamente e digitalmente (programação desenvolvida), o circuito funcionava de acordo com o pretendido, o comportamento posterior à instalação será o envio de informação pela rede interna da unidade fabril de forma consistente e sem falhas.

5.3. Realidade Implementada

5.3.1. Circuito Final “*Breadboard*”

O circuito final em testes foi implementado numa placa de ensaios denominada de *breadboard*. A justificação para a implementação do circuito neste tipo de plataforma de desenvolvimento, está diretamente associada à rápida execução de montagens, permitindo o teste e a alteração de componentes bem como ligações no próprio.

Mantendo os princípios definidos inicialmente, todos os componentes inseridos no interior do quadro de controlo não interferem com o funcionamento da máquina.

Com o objetivo de eliminar a possibilidade de contacto com os restantes elementos do quadro de controlo e para a proteção do mesmo, foi colocado um isolamento de plástico em todo o seu envolvente. No caso de existir contacto entre o circuito e alguma parte metálica do quadro a máquina deteta e bloqueia o estado em que se encontra. Conjuntamente ao bloqueio também apresenta um erro no comando da máquina.

Na Figura 5.5 é visível a placa de ensaios (*breadboard*) onde os diferentes componentes estão conectados bem como o isolamento de plástico colocado para eliminar a possibilidade de contacto com os restantes elementos do quadro de controlo da máquina.

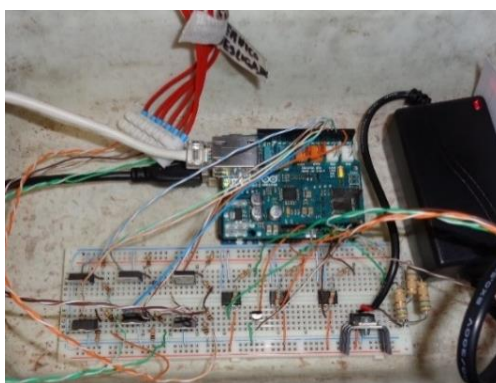


Figura 5.5 - Circuito final implementado na máquina.

A alimentação de todo o circuito é realizada através de uma tomada monofásica localizada no interior do quadro da máquina. Nesta tomada conecta-se o transformador FAZ12V2ABA.

Assinalado na Figura 5.6 pela seta verde está a posição da tomada utilizada.

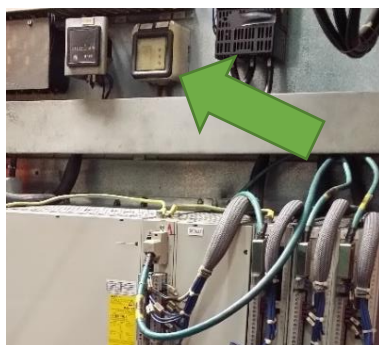


Figura 5.6 - Alimentação de circuito final.

A necessidade da utilização deste transformador é devido à tomada apresentar nos seus terminais uma tensão de 220Va.c..

Todos os cabos utilizados no circuito responsáveis pela interligação dos diferentes componentes e consecutivamente transmissão dos sinais à plataforma Arduino são provenientes de cabo *ethernet*. Na Figura 5.7, são visíveis os diferentes cabos e as interligações entre os componentes.

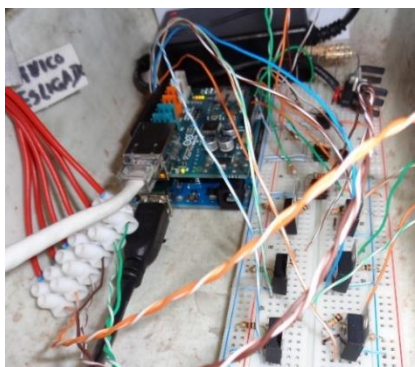


Figura 5.7 - Cabalagem para interligação de diferentes componentes.

A resistência e manobrabilidade deste tipo de cabos foram condições decisivas para a sua adoção e implementação em fase de testes. No entanto os sinais de controlo provenientes dos relés da máquina utilizam outros tipos de cabos (cabos que necessitam de ser estanhados) visíveis na Figura 5.7, com envolvente de cor vermelha ligados à régua de conectores. As terminações dos diferentes cabos provenientes dos relés são conectadas a cabos mais pequenos, (cabo de *ethernet*), por meio da régua de conectores.

O tipo de cabos utilizados nos circuitos em testes, não se aplicam a um circuito de implementação final. Num circuito de implementação final o tipo de cabos que são utilizados são do tipo em trança com revestimento de malha para a eliminação de possíveis ruídos.

Para a conexão da plataforma Arduino/ *Ethernet Shield 2* à rede interna da unidade fabril, foi necessário a identificação de um acesso a um ponto de rede. Cada máquina tem o seu ponto de rede, mas a sua utilização para interligação da plataforma Arduino, não seria coerente e correta. Nas máquinas mais antigas, como é o caso destas, a recepção da trajetória do percurso de maquinação é constantemente fornecida pela rede.

Ou seja, as máquinas ocupam a rede em permanência. Sendo necessário ligar duas máquinas à rede interna da unidade fabril e estando apenas um ponto de rede disponível (localizado perto das máquinas), foi colocada a possibilidade de utilização de um *switch* ao departamento de informática.

Como nenhuma contra indicação foi assinalada, procedeu-se a interligação das plataformas Arduino, das diferentes máquinas ao switch (Figura 5.8).



Figura 5.8 - Switch SKY LINK.

O *switch* para além de solucionar a falta de vários pontos de rede, na localização das máquinas, permite o envio dos dados sem latência e de forma fiável. Possibilita ainda que um computador portátil se conecte à rede, perto da localização das máquinas para verificação dos dados a ser enviados pela plataforma Arduino/ *Ethernet Shield 2*.

O *switch* assumiu um papel essencial na verificação dos estados das máquinas e consequente aprovação de informações transmitidas.

A implementação do circuito de testes no quadro da máquina e tudo o que está adjacente a este decorreu de acordo com o planeado e sem nenhum tipo de incidente. Para isso sempre que foi necessário, o trabalho da máquina foi interrompido, e acionado o estado de emergência. Nenhum problema foi identificado no envio de informação para a rede interna da unidade fabril.

5.3.2. Circuito Final PCB

O circuito final em teste, como já referido anteriormente, foi implementado numa placa de ensaios denominada de *breadboard*. Após verificado e validado o correto funcionamento do circuito procedeu-se a elaboração do esquema elétrico e sua implementação em PCB.

Foram tidos em conta os princípios definidos inicialmente.

Na Figura 5.9 é visível o circuito da Figura 4.22, com todos os componentes necessários já na posição final.

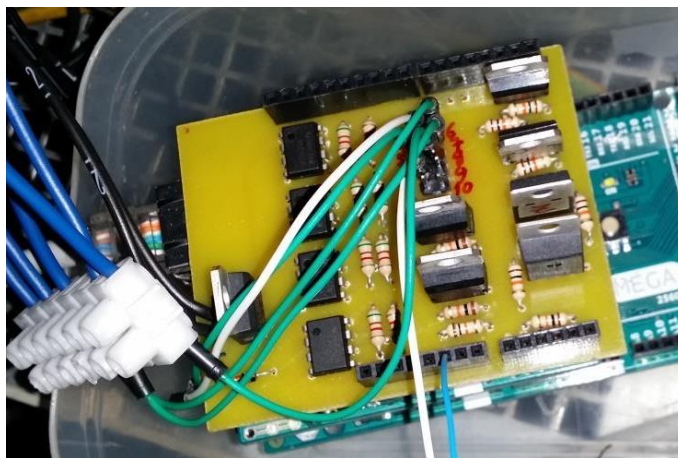


Figura 5.9 - Circuito da Figura 4.22, instalado em PCB.

Na Figura 5.9 é possível identificar uma alteração quando comparado o circuito da figura 4.22. Existem componentes (um ampop e 2 resistências) extra. Estes correspondem a configuração da Figura 5.2 (sem atribuição de eixo), socorrendo de reserva no caso de alguma configuração relativa aos eixos não funcionar de acordo com o planeado.

O esquemático da placa PCB onde os componentes são soldados, foi desenvolvido no *software* EAGLE. Na Figura 5.10 é visível o esquemático do circuito final implementado na máquina.

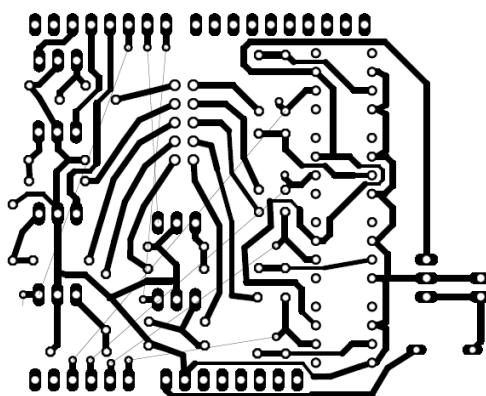


Figura 5.10 - Esquemático do circuito final.

As linhas mais finas (cinzento claro) correspondem a pequenos cabos elétricos que é necessário interligar na parte inferior da placa.

Posteriormente a instalação do esquema final visível na Figura 5.10, no quadro de controlo da máquina foram identificadas oportunidades de melhorias. O esquemático na Figura 5.11 corresponde à visão geral do projeto Tracker. A oportunidade de melhoria identificada foi a introdução de sinalizadores luminosos ao projeto.



Figura 5.11 - Visão geral do projeto Tracker.

Na tabela visível na página seguinte, Tabela 15, são apresentadas as descrições dos diferentes eixos, sinais, portas associados, as gamas de tensões envolvidas e diferentes conversões de níveis e componentes utilizados já com os sinalizadores luminosos incorporados. O total de portas utilizados são doze. Destes nove estão configurados como *Input* (entradas) e três como *output* (saídas). Dos nove portas em modo *Input*, três são analógicos. Os restantes postos são digitais.

Tracker	Plataforma Arduino				Condicionamento de sinal					
	Digital		Analog	Porta	IN	OUT	Material Necessário			
Descrição	IN	OUT	IN		(VDC)	(VDC)	Quantidade	Descritivo	Quantidade	Descritivo
Eixo X - XoutA0	0	0	1	A0	±10	1,90 até 4,40	1	uA741	2	5,1KΩ
Eixo Y - YoutA1	0	0	1	A1			1		2	
Eixo Z - ZoutA2	0	0	1	A2			1		2	
Total	0	0	3				3	uA741	6	5,1KΩ
Motor Elétrico-mE_in	1	0	0	D2	24 ou 0	5 ou 0	2	10KΩ	1	L7805
Troca Tool-tTool_in	1	0	0	D3			2		1	
Emergência-emerg_in	1	0	0	D4			2		1	
Extra Curso-extC_in	1	0	0	D5			2		1	
Reserva-reS_in	1	0	0	D6			2		1	
Reserva-reS_in	1	0	0	D7			2		1	
Total	6	0	0				12	10KΩ	6	L7805
Luz verde	0	1	0	D25	Sinalizador Luminoso – Quantidade: 1 5 VDC da plataforma Arduino alimenta relé - bobine acionada por 5VDC. Terminais relé: 24 VDC. Tensão de alimentação S.Luminoso 24VDC.					
Luz amarela	0	1	0	D26						
Luz vermelha	0	1	0	D27						
Total	12	Total de Input			9	Total de Output			3	

Tabela 15 - Descrição de sinais, portas associados, gamas de tensões, componentes e sinalizadores lumino

Visível na tabela 16, é a cor ativada em função do estado da máquina. Também a condição necessária para a ativação deste estado é apresentada.

Cor	Função	Condição
Verde	Maquinação	Flag_Maquinação
Vermelho	Parada	Flag_Paragem
Amarelo	Setup	(\overline{mEon}) & Eixos em Movimento
Vermelho a piscar	Emergência	Botão de emergência ativado

tabela 16 - Descrição/função de cor ativada.

Na Figura 5.12 é visível o sinalizador luminoso instalado numa das máquinas.



Figura 5.12 -Sinalizador luminoso instalado.

O correto funcionamento da placa PCB desenvolvida, sinalização luminosa, fez com que esta melhoria fosse introduzida ao projeto Tracker. Procedeu-se a instalação da placa desenvolvida e dos sinalizadores luminosos na segunda máquina em testes.

A alimentação do sinalizador luminoso (24 Vd.c.) é conseguida com recurso a um transformador presente no interior do quadro da máquina.

Em ambas as máquinas foram instalados as melhorias não sendo registada nenhuma anomalia no funcionamento das máquinas.

5.4. Verificação/Comprovação de Estados das Máquinas

O correto funcionamento e deteção do estado das máquinas foi validado com recurso à observação das máquinas no chão de fábrica e posterior verificação de estados guardados na base de dados.

O processo de validação pode ser descrito da seguinte forma:

1. Instalação e inicialização do circuito final e plataforma de controlo no quadro da máquina;
2. Inicialização de app “SNSD” no computador base (descrito no capítulo 6, secção 6.3.1);
3. Verificação e registo manual do tempo que cada estado da máquina se encontra ativo;
4. Comparação de registos efetuados manualmente e os registos digitais;
5. Aprovação do correto funcionamento e consequentemente validação dos estados das máquinas.

O processo de validação descrito foi executado por três pessoas distintas, em períodos temporais também desiguais. A primeira foi realizada pela minha pessoa, a segunda por um colaborador do Grupo Simoldes e a terceira por um estagiário na empresa.

5.5. Resultados Obtidos

O circuito implementado funciona corretamente. Para além de serem garantidos todos os níveis de tensão necessários ao bom funcionamento, não regista nenhum problema de aquecimento.

O transformador selecionado fornece a amperagem necessária ao bom funcionamento de todos os componentes do circuito.

O circuito não interfere com a máquina, e permite identificar corretamente o seu estado.

O envio de informação relativo ao estado das máquinas pela rede interna da unidade fabril, não constitui um problema e ocorre sem interrupções.

A receção de informação, por uma app denominada de “SNSD” (*Searching Network Saving Data*) também se verifica sem qualquer tipo de problema.

A identificação visual do estado de cada máquina no chão de fábrica, através dos sinalizadores luminosos não apresenta nenhum problema.

6. TRATAMENTO DE DADOS E TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO

6.1. Programação Desenvolvida

A programação da plataforma Arduino caracteriza-se por utilizar na sua programação uma linguagem em código aberto desenvolvida sobre uma biblioteca que simplifica a programação em C/C++. A plataforma Arduino foi programada com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem *Wiring*. A programação desenvolvida no decorrer do projeto, permite à plataforma Arduino receber dados da máquina e “transformá-los” em informação. A programação foi-se alterando sempre que se verificou que a informação não estava de acordo com o que seria expetável. A programação foi desenvolvida previamente e testada nas duas máquinas CNC. Como em qualquer projeto que envolva programação, foi necessário dispensar bastante tempo nesta fase para efetuar a correção de pequenos erros de programação, apelidados na gíria popular de “*bugs*”, e consequentemente garantir o bom funcionamento do código desenvolvido. As bibliotecas utilizadas no desenvolvimento deste projeto foram as seguintes:

- `#include <SPI.h>` Biblioteca para habilitação da comunicação série.
- `#include <Ethernet2.h>` Biblioteca para o módulo *Ethernet V2*.
- `#include <EthernetUdp2.h>` Biblioteca para o módulo *Ethernet V2*.
- `#include "LM35.h"` Biblioteca para o sensor de temperatura LM35.

Os pinos habilitados na plataforma Arduino para a receção de dados dos eixos, X,Y,Z, são os pinos analógicos nº 0, 1 e 2. Nos seguintes pontos é visível a inicialização dos pinos X, Y, Z.

- `const int pinoEixoX = 0;`
- `const int pinoEixoY = 1;`
- `const int pinoEixoZ = 2;`

A plataforma Arduino executa a verificação dos diferentes estados com uma periodicidade de três segundos. O período de três em três segundos foi definido a quando da definição de necessidades do projeto. A justificação para um período de verificação tão frequente está diretamente relacionada com o tipo de trabalho executado na máquina.

O período de maior dificuldade para leitura do estado é o *setup* porque na maioria do tempo a máquina ou está parada ou em maquinação. Este estado caracteriza-se por ser menos frequente que os dois anteriores. Para além disso o período de tempo em que este é ativado resume-se a poucos segundos (aproximadamente dez a quinze segundos por ativação).

Rotinas de ações como é o caso do posicionamento da mesa da máquina, o alinhamento do bloco de aço e a procura das coordenadas de posição para o início de maquinação, são característicos deste estado. Todas as ações anteriores caracterizam-se por necessitarem de breves períodos de tempo em que a máquina é ativada. As rotinas descritas anteriormente inserem-se na janela temporal de dez a quinze segundos de duração. A verificação de três em três segundos ocorre com vista a deteção do estado *setup*. Apesar da verificação de estado se realizar de três em três segundos, a informação é apenas enviada para a rede interna da unidade fabril, quando ocorre uma alteração de estado (exemplo: alteração de paragem para *setup*).

Com esta forma de programação não se sobrecarrega a rede interna da unidade fabril e o equipamento *Arduíno Ethernet Shield 2* com o envio de informação. A programação desenvolvida neste projeto tomou como base o fluxograma presente na Figura 6.1. A expressão matemática da $Flag_{Maquinação}$, $Flag_{Setup}$ e $Flag_{Paragem}$ são visíveis na subsecção 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3.

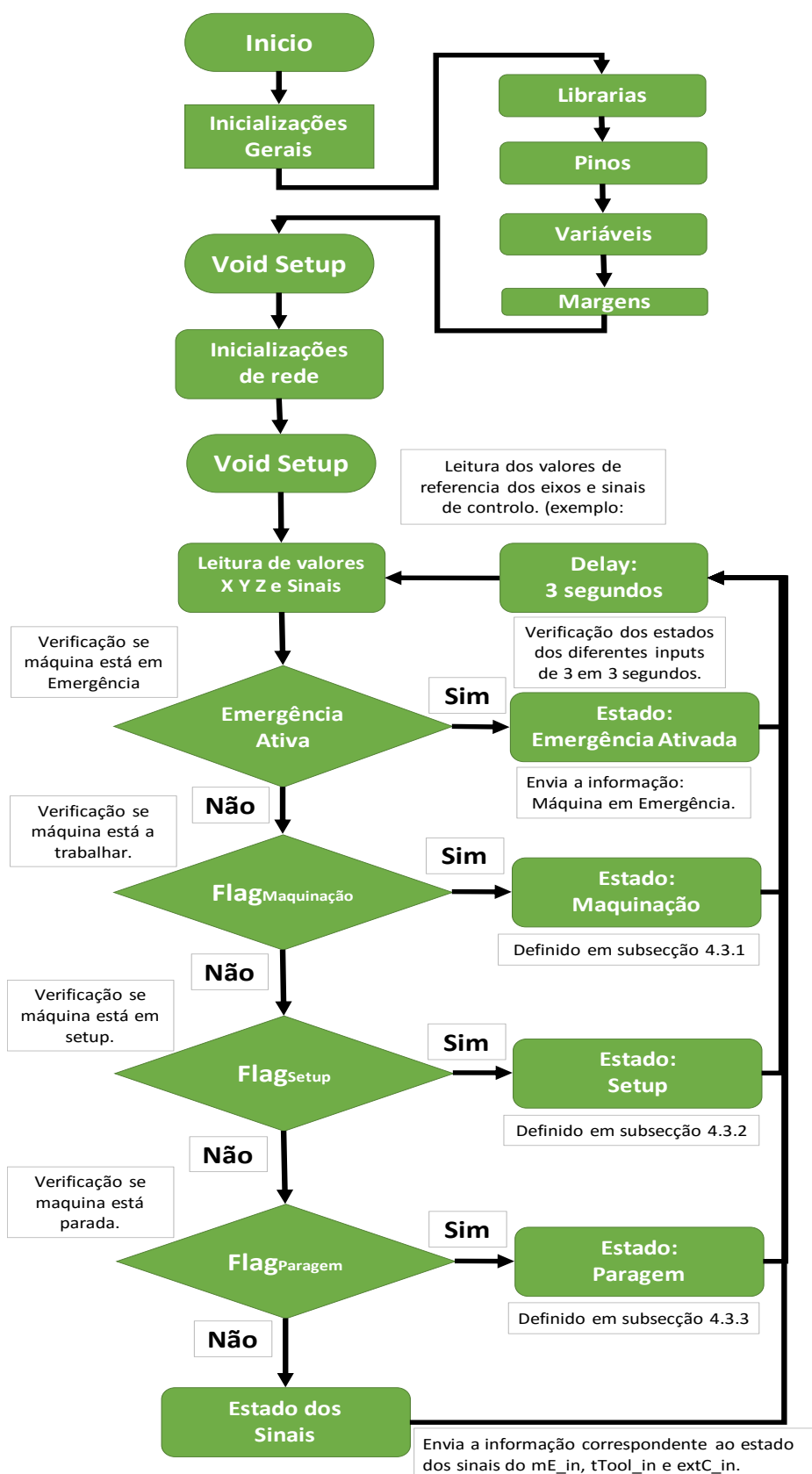


Figura 6.1 - Fluxograma correspondente a programação do Arduíno.

6.2. Configurações Informáticas

Na secção atual, são analisadas quais as configurações informáticas aplicadas ao projeto Tracker.

Diferentes configurações informáticas foram aplicadas no código desenvolvido para o projeto. Os IPs atribuídos às plataformas Arduino presentes nas máquinas Rambaudi 800 são uma das configurações implementadas e de extrema relevância. O IP atribuído a cada uma das máquinas é único e torna possível a identificação da informação enviada para a rede interna da unidade fabril. Estes IPs foram disponibilizados pelo departamento de informática do Grupo Simoldes, ficando assim garantido que a programação desenvolvida não utiliza nenhum IP já ocupado na empresa.

À máquina Rambaudi 800 (CNC) foi-lhe atribuído um equipamento com o seguinte IP:

- *IP Address IParduino* (172.25.10.5);

Já na máquina Rambaudi 800 (CNW) o IP atribuído é o seguinte:

- *IP Address IParduino* (172.25.10.4);

Configurações mais pormenorizadas que os equipamentos em uso possuem, tais como o *DNS*, a *Gateway*, a *Subnet*, entre outras são as seguintes:

- | | |
|---|---|
| • <i>IPAddress DNSarduino</i> (172.25.1.6); | Define o <i>DNS</i> do Arduino. |
| • <i>IPAddress Gatewayarduino</i> (172.25.1.254); | Define <i>Gateway</i> Arduino. |
| • <i>IPAddress Subnet</i> (255.255.0.0); | Define <i>Subnet</i> Arduino. |
| • <i>Unsigned int PortaUdpArd</i> = 8888; | Definir porta <i>TCP/UDP</i> do Arduino (a ser escutada). |
| • <i>IPAddress IPreceptor1</i> (172.25.2.52); | Corresponde ao <i>IP</i> do PC base. |
| • <i>Unsigned int PortaUdpRece</i> = 6000; | Definir porta <i>TCP/UDP</i> do PC (que irá escutar). |
| • <i>EthernetUDP Udp</i> ; | Enviar e receber pacotes através de <i>UDP</i> . |

A informação enviada pela plataforma Arduino presente nas máquinas é rececionada pelo *software/app* "SNSD" (*Searching Network Saving Data*) sendo analisada na secção seguinte, 6.3.1. Este *software* foi desenvolvido por colaboradores com formação superior em engenharia informática pertencentes à equipa de métodos & processos. Exemplo de informação rececionada por este *software* é visível na figura 6.2.

6.3. Softwares Utilizados

6.3.1. App "SNSD" (Searching Network Saving Data)

Descrito no capítulo 1 (Introdução), secção 1.3 (O projeto), após o envio de informação para a rede interna da unidade fabril o *software* "SNSD" para receção/visualização da informação é também responsável por gravar na base de dados a informação proveniente das máquinas CNC. A criação da base de dados para o armazenamento de informação e dois *softwares* de visualização de informação foram desenvolvidos pelo mesmo colaborador da equipa que desenvolveu o *software* "SNSD". Para que o *software* desenvolvido fosse completamente otimizado à programação já desenvolvida na plataforma Arduino, foram realizados pequenos ajustes neste *software*.

Nos seguintes pontos é apresentado a função e o funcionamento do *software/app* denominada de *Searching Network Saving Data*, "SNSD".

-Função:

- Leitura de informação proveniente das plataformas Arduino presentes nas máquinas e separação da mesma;
- Posteriormente à receção da informação grava-se na base de dados;
- Verificação visual "instantânea" da informação enviada pelas plataformas Arduino.

-Funcionamento:

- Recebe a informação via UDP;
- Identifica o IP do Arduino que enviou a informação e regista a hora e data da receção;
- Escreve na consola da app a data e hora de receção, o IP e a informação recebida para verificação visual;
- Separa a informação proveniente das plataformas Arduino, recorrendo a *underscores* e grava a informação nas respetivas colunas da base de dados.

Na figura 6.2, é possível visualizar a informação característica que este *software/app*, lê, separa e grava na base de dados.

```

leiti-tion_f54462da56482fa0_7e4e9664030679ff
12-07-2015 15:06:48 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:06:51 172.25.10.5 Custodr(E)-0.01 Temp-6.00 TrocaToel
12-07-2015 15:06:51 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:06:54 172.25.10.5 Custodr(E)-0.01 X-740.00_Y-740.00_Z-741.00_Temp
-6.00 ApuereOff
12-07-2015 15:06:54 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-28.00
12-07-2015 15:06:57 172.25.10.5 Custodr(E)-0.01 X-750.00_Y-741.00_Z-738.00_Temp
-6.00
12-07-2015 15:06:57 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:07:00 172.25.10.5 Custodr(E)-0.01 X-749.00_Y-740.00_Z-738.00_Temp
-6.00
12-07-2015 15:07:00 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:07:03 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 X-749.00_Y-741.00_Z-738.00_Temp
-6.00 Parada
12-07-2015 15:07:03 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:07:06 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-6.00
12-07-2015 15:07:06 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:07:09 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-6.00
12-07-2015 15:07:09 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-20.00
12-07-2015 15:07:12 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-5.00
12-07-2015 15:07:13 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 X-740.00_Y-740.00_Z-711.00_Temp
-27.00
12-07-2015 15:07:15 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-5.00
12-07-2015 15:07:16 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 X-736.00_Y-737.00_Z-733.00_Temp
-27.00
12-07-2015 15:07:18 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-6.00
12-07-2015 15:07:19 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 X-735.00_Y-739.00_Z-734.00_Temp
-27.00
12-07-2015 15:07:21 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-6.00
12-07-2015 15:07:22 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 X-739.00_Y-736.00_Z-729.00_Temp
-27.00
12-07-2015 15:07:24 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-6.00
12-07-2015 15:07:25 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 X-741.00_Y-738.00_Z-732.00_Temp
-27.00 Parada
12-07-2015 15:07:27 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-6.00
12-07-2015 15:07:28 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:07:30 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 X-740.00_Y-707.00_Z-730.00_Temp
-5.00 Setup
12-07-2015 15:07:31 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:07:33 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 X-746.00_Y-739.00_Z-734.00_Temp
-5.00 Parada
12-07-2015 15:07:34 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:07:36 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 X-749.00_Y-740.00_Z-738.00_Temp
-5.00
12-07-2015 15:07:37 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-28.00
12-07-2015 15:07:39 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 X-749.00_Y-739.00_Z-737.00_Temp
-5.00
12-07-2015 15:07:40 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:07:43 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 X-748.00_Y-739.00_Z-738.00_Temp
-5.00 Parada
12-07-2015 15:07:43 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:07:46 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-5.00
12-07-2015 15:07:49 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:07:49 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-5.00
12-07-2015 15:07:52 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
12-07-2015 15:07:53 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-5.00
12-07-2015 15:07:55 172.25.10.5 Custodr(E)-0.00 Temp-5.00
12-07-2015 15:07:56 172.25.10.4 Custodr(E)-0.00 Temp-27.00
  
```

Figura 6.2 - App "SNSD" com informação rececionada.

6.3.2. Base de Dados – MICROSOFT SQL SERVER MANAGEMENT STUDIO

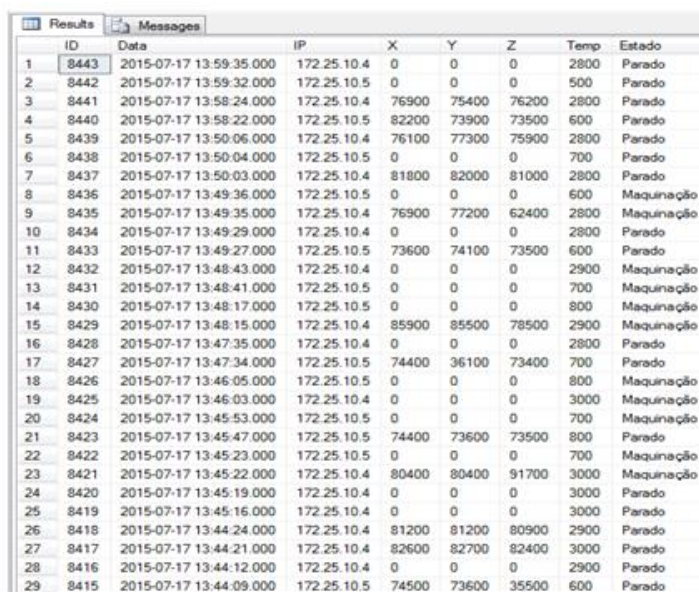
A definição de base de dados é apresentada como um “produto” desenvolvido a partir de *software*, em que a sua principal função é guardar e procurar dados e informação requeridos por variadas aplicações de *software*. Estas aplicações podem estar na mesma máquina informática onde a base de dados é armazenada ou noutra máquina, através de uma rede interna informática com várias interligações. Pode-se afirmar que uma base de dados é um conjunto estruturado, informatizado e partilhado de dados e informação, sujeito a um controlo central. Com a base de dados centralizada a informação é de fácil acesso no interior da rede do Grupo Simoldes. Ter a informação numa base de dados é essencial para os *softwares* de tratamento automático de informação. Estes *softwares* necessitam da informação centralizada de forma a executarem as suas funções corretamente (visualização gráfica e posterior cálculo de OEE). A base de dados selecionada pelo colaborador da equipa de método & processo, foi a Microsoft SQL Server Management Studio Express (SSMSE)

A informação resultante do tratamento de dados da plataforma Arduíno tem de ser armazenada em colunas específicas da base de dados. A Tabela 17 apresenta as distintas colunas criadas para guardar a informação dos diferentes estados das máquinas CNC. Na Tabela 17 são visíveis colunas, como por exemplo, o descritivo e duração dos estados, calculados através de variáveis internas da base de dados.

ID	Data	IP	X	Y	Z	Temp	Estado	Descritivo	Duração
----	------	----	---	---	---	------	--------	------------	---------

Tabela 17 - Colunas da base de dados onde a informação é guardada.

Na Figura 6.3, é visível um exemplo de informação, relativa ao ID, Data, IP, X, Y, Z, Temp, e Estado guardada na base de dados.



ID	Data	IP	X	Y	Z	Temp	Estado	Descritivo	Duração
8443	2015-07-17 13:59:35.000	172.25.10.4	0	0	0	2800	Parado		
8442	2015-07-17 13:59:32.000	172.25.10.5	0	0	0	500	Parado		
8441	2015-07-17 13:58:24.000	172.25.10.4	76900	75400	76200	2800	Parado		
8440	2015-07-17 13:58:22.000	172.25.10.5	82200	73900	73500	600	Parado		
8439	2015-07-17 13:50:06.000	172.25.10.4	76100	77300	75900	2800	Parado		
8438	2015-07-17 13:50:04.000	172.25.10.5	0	0	0	700	Parado		
8437	2015-07-17 13:50:03.000	172.25.10.4	81800	82000	81000	2800	Parado		
8436	2015-07-17 13:49:36.000	172.25.10.5	0	0	0	600	Maquinação		
8435	2015-07-17 13:49:35.000	172.25.10.4	76900	77200	62400	2800	Maquinação		
8434	2015-07-17 13:49:29.000	172.25.10.4	0	0	0	2800	Parado		
8433	2015-07-17 13:49:27.000	172.25.10.5	73600	74100	73500	600	Parado		
8432	2015-07-17 13:48:43.000	172.25.10.4	0	0	0	2900	Maquinação		
8431	2015-07-17 13:48:41.000	172.25.10.5	0	0	0	700	Maquinação		
8430	2015-07-17 13:48:17.000	172.25.10.5	0	0	0	800	Maquinação		
8429	2015-07-17 13:48:15.000	172.25.10.4	85900	85500	78500	2900	Maquinação		
8428	2015-07-17 13:47:35.000	172.25.10.4	0	0	0	2800	Parado		
8427	2015-07-17 13:47:34.000	172.25.10.5	74400	36100	73400	700	Parado		
8426	2015-07-17 13:46:05.000	172.25.10.5	0	0	0	800	Maquinação		
8425	2015-07-17 13:46:03.000	172.25.10.4	0	0	0	3000	Maquinação		
8424	2015-07-17 13:45:53.000	172.25.10.5	0	0	0	700	Maquinação		
8423	2015-07-17 13:45:47.000	172.25.10.5	74400	73600	73500	800	Parado		
8422	2015-07-17 13:45:23.000	172.25.10.5	0	0	0	700	Maquinação		
8421	2015-07-17 13:45:22.000	172.25.10.4	80400	80400	91700	3000	Maquinação		
8420	2015-07-17 13:45:19.000	172.25.10.4	0	0	0	3000	Parado		
8419	2015-07-17 13:45:16.000	172.25.10.4	0	0	0	3000	Parado		
8418	2015-07-17 13:44:24.000	172.25.10.4	81200	81200	80900	2900	Parado		
8417	2015-07-17 13:44:21.000	172.25.10.4	82600	82700	82400	3000	Parado		
8416	2015-07-17 13:44:12.000	172.25.10.4	0	0	0	2900	Parado		
8415	2015-07-17 13:44:09.000	172.25.10.5	74500	73600	35500	600	Parado		

Figura 6.3 - Informação guardada na base de dados.

6.3.3. Visual Studio 2013 Professional (Linguagem VB.NET)

O *Visual Studio* 2013 é um programa que pertence à Microsoft. Este *software* foi desenvolvido especialmente para ser dedicado às linguagens Visual Basic (VB), C, C++, C Sharp e J Sharp. No entanto para o desenvolvimento no âmbito web e aplicações para *smartphones*, este *software* tem sido cada vez mais utilizado. As linguagens utilizadas com maior frequência para programação nesta plataforma são o VB.NET (Visual Basic.Net) e o C Sharp. As sete versões do visual studio, são representativas de quanto o *software* está presente no mundo da programação.

O Microsoft Visual Studio 2013 permite que programadores, como Simão Moreira da equipa de métodos & processos, criem *softwares* que proporcionam experiências ao utilizador final de elevada qualidade. Com este tipo de *softwares* fica assegura-do a transmissão de informação de forma eficaz. O Visual Studio 2013 apresenta ferramentas com as quais as empresas como o Grupo Simoldes contam e aplicam na análise das mais variadas informações. Esta análise traduz-se em melhores tomadas de decisões perante determinado objetivo ou problema.

Com a utilização do Microsoft Visual Studio Professional e da linguagem de programação VB.NET, o colaborador Simão Moreira criou uma aplicação de visualização de informação resultante das máquinas CNC.

Esta aplicação caracteriza-se por:

- Capacidade de seleccionar os dados relativos ao IP da empresa e da máquina;
- Capacidade de seleccionar o período de tempo que se pretende visualizar;
- Preencher os gráficos com os dados/informação presentes na Base de Dados.

Na Figura 6.4, estão presentes todas as séries resultantes dos dados/informação, relativas ao período de tempo seleccionado (hora), guardados na base de dados.

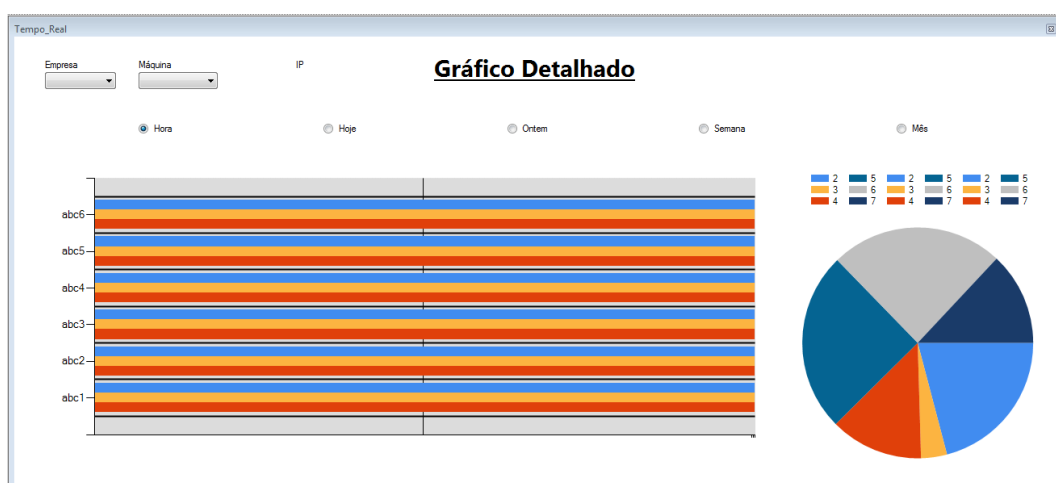


Figura 6.4 - Representação gráfica das diferentes séries.

6.4. Visualização da Informação Recolhida

Posteriormente à recolha e à salvaguarda da informação na base de dados, é necessário explorá-la da forma mais visual explícita. Com este intuito três aplicações foram desenvolvidas. Estas aplicações permitem a visualização da informação recolhida.

Nas secções e subsecções seguintes (6.4.1 até 6.4.3.2) são apresentadas e explicadas as diferentes aplicações de visualização da informação dos diferentes estados das máquinas.

6.4.1. Aplicação 1 – Raw Information (CMD)

A app “SNSD” para além das funções descritas anteriormente (rececionar, separar, guardar a informação) permite a visualização “instantânea” de informação no CMD (Interpretadores de comandos). Esta aplicação recebe informação proveniente das plataformas Arduino, permitindo a visualização “instantânea” de informação. No entanto não é visualmente agradável para a visualização de informação.

A app “SNSD” distingue-se por:

- Apresentar a informação de uma forma instantânea (atraso máximo de 3 segundos);
- Não ser possível a visualização da informação já guardada e apresentada anteriormente;
- Não ser possível a apresentação de cálculos estatísticos no monitor.

Na Figura 6.5 é visível a informação que esta aplicação apresenta de 3 em 3 segundos.

```

leit_tion_f54462da56482fa0_7e4e9664030679ff
15:06:40 15:06:40 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:06:43 15:06:43 172.25.10.5 Custofa<E>-0.01 X=749.00 Y=740.00 Z=741.00 Temp
6.00 TrocaTool
15:06:46 15:06:46 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=20.00
15:06:49 15:06:49 172.25.10.5 Custofa<E>-0.01 X=750.00 Y=741.00 Z=738.00 Temp
6.00
15:06:52 15:06:52 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:06:55 15:06:55 172.25.10.5 Custofa<E>-0.01 X=740.00 Y=740.00 Z=738.00 Temp
5.00
15:06:58 15:06:58 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:07:01 15:07:01 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 X=749.00 Y=741.00 Z=738.00 Temp
6.00 Parada
15:07:04 15:07:04 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:07:07 15:07:07 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 Temp=6.00
15:07:10 15:07:10 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:07:13 15:07:13 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 Temp=6.00
15:07:16 15:07:16 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=28.00
15:07:19 15:07:19 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 X=740.00 Y=740.00 Z=711.00 Temp
27.00
15:07:22 15:07:22 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=5.00
15:07:25 15:07:25 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 X=736.00 Y=737.00 Z=733.00 Temp
27.00
15:07:28 15:07:28 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=6.00
15:07:31 15:07:31 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 X=735.00 Y=739.00 Z=734.00 Temp
27.00
15:07:34 15:07:34 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=6.00
15:07:37 15:07:37 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 X=736.00 Y=736.00 Z=729.00 Temp
27.00
15:07:40 15:07:40 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=6.00
15:07:43 15:07:43 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 X=741.00 Y=738.00 Z=732.00 Temp
27.00 Parada
15:07:46 15:07:46 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=6.00
15:07:49 15:07:49 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:07:52 15:07:52 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:07:55 15:07:55 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 X=740.00 Y=707.00 Z=738.00 Temp
5.00
15:07:58 15:07:58 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:08:01 15:08:01 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 X=746.00 Y=739.00 Z=734.00 Temp
5.00
15:08:04 15:08:04 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:08:07 15:08:07 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 X=749.00 Y=740.00 Z=738.00 Temp
6.00
15:08:10 15:08:10 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=28.00
15:08:13 15:08:13 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 X=749.00 Y=739.00 Z=737.00 Temp
6.00
15:08:16 15:08:16 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:08:19 15:08:19 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 X=740.00 Y=739.00 Z=738.00 Temp
5.00 Parada
15:08:22 15:08:22 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:08:25 15:08:25 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 Temp=5.00
15:08:28 15:08:28 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:08:31 15:08:31 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:08:34 15:08:34 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=6.00
15:08:37 15:08:37 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:08:40 15:08:40 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:08:43 15:08:43 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 Temp=5.00
15:08:46 15:08:46 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:08:49 15:08:49 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:08:52 15:08:52 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=6.00
15:08:55 15:08:55 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00
15:08:58 15:08:58 172.25.10.4 Custofa<E>-0.00 Temp=5.00
15:09:01 15:09:01 172.25.10.5 Custofa<E>-0.00 Temp=27.00

```

Figura 6.5 - Informação em atualização na app “SNSD”.

6.4.2. Aplicação 2 – Excel - Base de Dados

A aplicação 2 caracteriza-se por ser um ficheiro excel, com uma ligação rápida à base de dados do projeto e naturalmente com acesso a sua informação. Esta aplicação, foi desenvolvida pela

minha pessoa e surge da necessidade de visualização dos históricos referentes aos diferentes estados das máquinas. É importante salientar que esta visualização de informação é uma opção não “gráfica”.

Esta aplicação acede em tempo real a informação guardada na base de dados e caracteriza-se pela permissão de seleção dos seguintes campos:

1. A máquina que se pretende obter informações (figura 6.6).

Esta ação faz “entrar” noutra folha do mesmo ficheiro *excel*, que contém um submenu (Figura 6.7).



Figura 6.6 - Folha de rosto da aplicação 2.

2. A visualização dos estados das máquinas com diferentes tipos de seleções/ordenações.
 - A seleção sem ordenação (Seleção de “Maq 800 CNC”);
 - Selecionar um estado específico e visualização ordenada por ordem cronológica, exemplo Maquinação (Seleção de “Maquinação”).



Figura 6.7 - Folha de seleção dos estados da máquina selecionada.

Exemplo de registos resultantes de ações anteriores, tais como a seleção da máquina 800 CNC sem ordenação são apresentados na Figura 6.8.

ID	Data	IP	X	Y	Z	Temp	Estado	Descrição	Duração
14998	27/07/2015 15:57	172.25.10.4	0	0	0	0	Parado	ArvoreOff	
14997	27/07/2015 15:56	172.25.10.4	0	0	0	0	Parado	ArvoreOn	46
14996	27/07/2015 15:52	172.25.10.4	0	0	0	0	Maquinação	Setup	
14995	27/07/2015 15:50	172.25.10.4	75700	75300	75000	0	Parado	Setup	345
14994	27/07/2015 15:50	172.25.10.4	76100	76100	37300	0	Setup	Setup	11
14993	27/07/2015 15:50	172.25.10.4	75800	75700	75100	0	Parado	ArvoreOff	30
14992	27/07/2015 15:42	172.25.10.4	0	0	0	0	Maquinação	Setup	605
14991	27/07/2015 15:42	172.25.10.4	0	0	0	2900	Maquinação	Setup	
14990	27/07/2015 15:40	172.25.10.4	0	0	0	2900	Maquinação	Setup	577
14989	27/07/2015 15:32	172.25.10.4	0	0	0	2900	Maquinação	Setup	602
14988	27/07/2015 15:30	172.25.10.4	0	0	0	2900	Maquinação	Setup	602
14987	27/07/2015 15:22	172.25.10.4	0	0	0	2900	Maquinação	Setup	601

Figura 6.8 - Registos provenientes da seleção de uma máquina sem ordenação do estado.

6.4.3. Aplicação 3 – Informação Gráfica

No sentido oposto ao das aplicações apresentadas anteriormente, a terceira aplicação permite a visualização da informação de uma forma gráfica. A terceira aplicação, intitulada de informação gráfica, foi desenvolvida devido à necessidade de apresentação de informação de forma visualmente mais “amigável” para o utilizador final. Esta aplicação iniciou-se pela visualização de um espectro temporal e à medida que a informação guardada sobre as máquinas foi crescendo uma visualização mais dinâmica foi criada. Dinâmica porque permite a seleção de diferente espectros temporais. Nas subsecções 6.4.3.1 e 6.4.3.2 são apresentados as principais diferenças entre as duas formas de visualização (temporal e dinâmica) desta aplicação. Nesta aplicação a cor azul identifica o estado de maquinação, a cor laranja identifica o estado de *setup* e o vermelho o estado parado.

6.4.3.1. Temporal

A forma de visualização temporal, corresponde à primeira aplicação para visualização de informação num registo mais “*user friendly*”. No entanto, esta aplicou-se apenas ao início do projeto Tracker. As razões que justificam esta afirmação são as seguintes:

1. A aplicação permite unicamente a visualização de informação respetiva a uma máquina. Não é possível a seleção de informação de outra máquina CNC;
2. Não é possível saber em determinado instante o estado em que a máquina está;
3. É possível apenas saber a quantidade de horas que cada estado esteve ativo nas diferentes escalas temporais;
4. Percentagens relativas ao tempo que cada estado está ativo não são possíveis;
5. Não é possível a seleção das diferentes empresas do Grupo Simoldes;
6. A aplicação ainda contém “*bugs*” que possibilitam que um dia tenha mais do que 24 horas.

Os pontos identificados anteriormente, podem ser analisados na Figura 6.9. Esta corresponde à primeira versão da terceira aplicação.

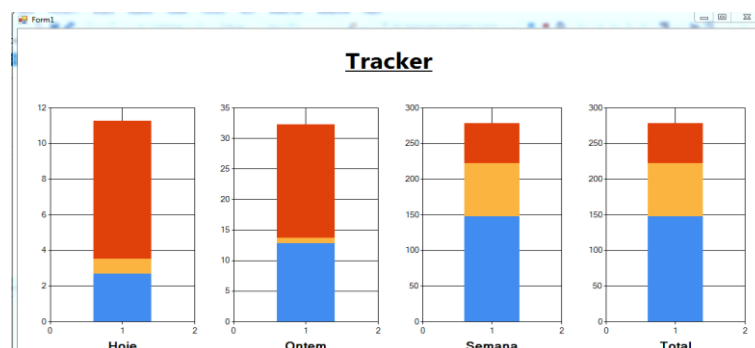


Figura 6.9 - Apresentação grafica temporal de informação.

Esta versão de visualização foi “abandonada”, e optou-se por desenvolver uma nova versão que “melhorasse” todos os pontos identificados previamente.

6.4.3.2. Analise a Diferentes Espectros Temporais

A informação resultante da instalação do protejo Tracker na segunda máquina, obrigou a repensar a terceira aplicação. Na sua elaboração foram tidos em conta todos os pontos menos positivos identificados na primeira versão. Na segunda versão é possível seleccionar a empresa, a máquina e diferente espectros temporais. É também possível saber qual o estado de cada máquina em tempo real, percentagens reais calculadas a quando da consulta dos diferentes estados e de acordo com o pedido seleccionado. Nesta versão o “bug” anterior foi eliminado e a identificação de um período horário de 24 horas já é possível.

Na Figura 6.10, são visíveis todas as máquinas com o projeto Tracker já instalado na empresa SA (Simoldes Aços). O espectro temporal também foi seleccionado e a análise de cálculo estatístico apresentada no lado direito da Figura 6.10, tem em conta todos os campos seleccionados anteriormente.

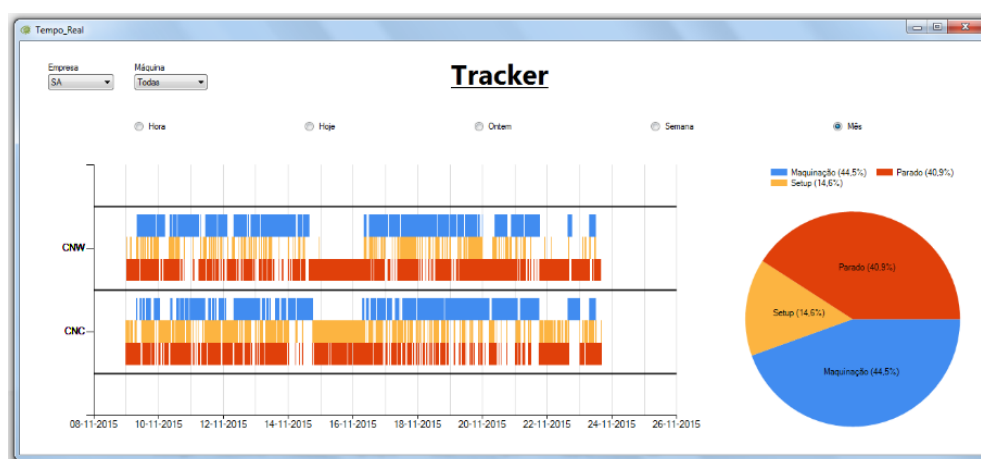


Figura 6.10 - Exibição gráfica de informação na segunda versão da terceira aplicação.

No exemplo da Figura 6.11, a máquina CNW da empresa SA foi seleccionada com o espectro temporal mês. A informação disponibilizada por esta aplicação perante as condições seleccionadas é visível na Figura 6.11.

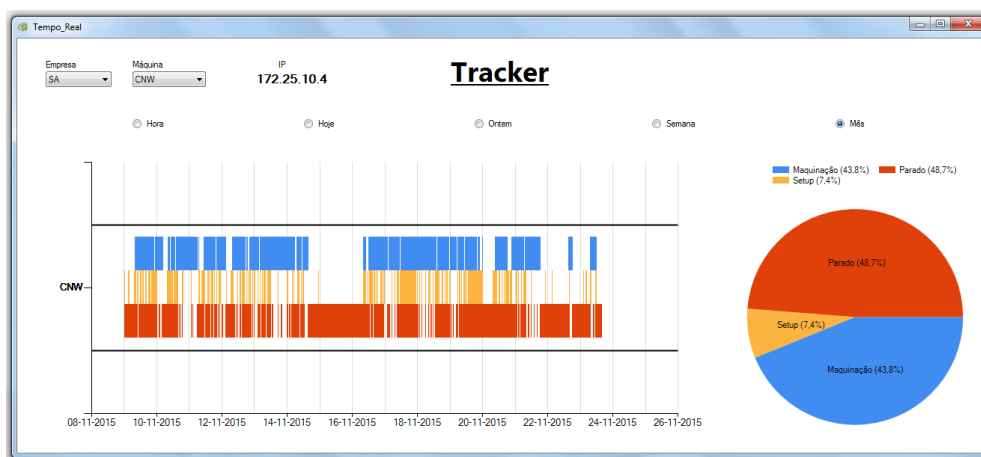


Figura 6.11 - Exposição gráfica de informação resultante das condições seleccionadas.

Na secção 6.3 e subsecções foram apresentadas as diferentes soluções para visualização de informação recolhida das máquinas. Com recurso às diferentes aplicações a apresentação de informação sobre os estados das máquinas ao utilizador final torna-se mais ou menos perceptível de acordo com a aplicação. No entanto as três aplicações são de extrema importância para o projeto Tracker. Para o desenvolvimento da terceira aplicação (ambas as versões) foram tidas em conta as necessidades identificadas na primeira e segunda aplicação.

É importante referir que a primeira e a segunda aplicação não disponibilizam a informação de uma forma gráfica. A primeira versão da terceira aplicação foi o “pilar”, para o desenvolvimento da segunda versão. Na primeira versão foram identificadas quais as necessidades e dificuldades prévias para o desenvolvimento da segunda versão. Desta forma a segunda versão já foi desenvolvida com diretrizes já identificadas. A segunda versão da terceira aplicação (subsecção 6.4.3.2) em conjunto com a segunda aplicação (secção 6.4.2) são bastantes importantes para o posterior cálculo do OEE. Este cálculo será efetuado, quando o projeto Tracker recolher as informações necessárias para o correto cálculo.

Para que o cálculo de OEE tenha “sustento” válido terão que ser recolhidas informações de diferentes máquinas das diferentes unidades fabris, ao longo de um espectro temporal suficientemente alargado. Com esta metodologia consegue-se evitar ou precaver cálculos de OEE errados, devido a períodos de amostragem curtos/insuficientes que não correspondem à realidade de trabalho aplicada à máquina.

A capacidade de se apresentar informações relativas aos estados das máquinas numa determinada escala temporal de uma forma gráfica é imprescindível para o projeto Tracker.

Só assim é possível transmitir a informação recolhida, a chefias superiores.

6.5. Hardware

6.5.1. Computador “Base” /”Servidor”

Para que a app denominada de *Searching Network Saving Data*, “SNSD”, responsável pela receção, tratamento e salvaguarda da informação na base de dados, uma máquina informática tem que estar em permanência ativa. A máquina selecionada pelo departamento informático do Grupo Simoldes está atualmente no gabinete de produção da unidade fabril Simoldes Aços.

Esta máquina foi “convertida” na “central” para a app “SNSD”.

Na figura 6.12, é visível o computador selecionado e a app, “SNSD” instalada.

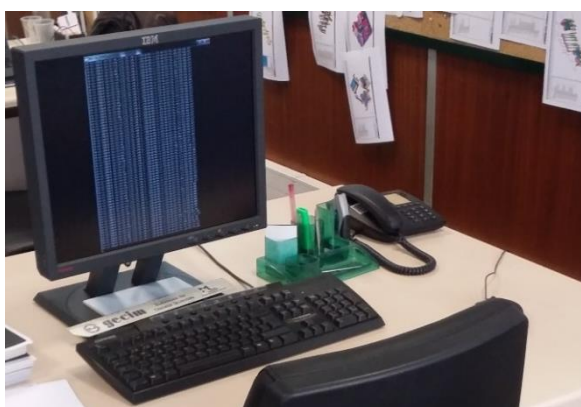


Figura 6.12 - Computador base selecionado para a app “SNSD”.

7. ANÁLISE DE FINANCEIRA

7.1. Custos Por Máquina CNC

Na procura e desenvolvimento de uma solução que permitisse identificar os diferentes estados das máquinas foi necessário a realização de investimento.

Investimento esse que foi abrangente a várias áreas da empresa tais como: Recursos monetários, humanos, físicos (tempo que as máquinas estão paradas para a aplicação e testes do projeto Tracker) bem como outros.

Os microcontroladores utilizados neste projeto, Arduino, são uma solução de baixo custo, eficiente e de rápida implementação. Nos pontos seguintes são visíveis os dois produtos do fabricante Arduino adquiridos para o desenvolvimento do projeto Tracker.

Arduino Mega



Figura 7.1 - Arduino Mega. [5]

Arduino Ethernet Shield 2

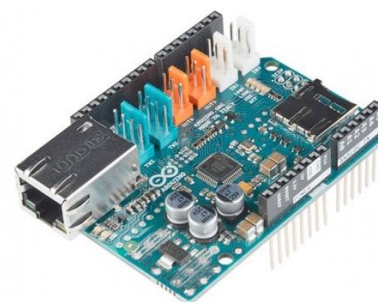


Figura 7.2 - Arduino Ethernet Shield 2. [6]

Mencionados já anteriormente os componentes que foram necessárias adquirir para cada máquina foram os seguintes:

Transformador: FAS12V2AB 220 V.a.c. – 12 V.d.c.



Figura 7.3 - Transf. 220V.a.c.–12 V.d.c.[37]

Reguladores de tensão L7805.



Figura 7.4 - Reguladores L7805. [16]

Para o circuito da plataforma de controlo dos eixos:

- Amplificador operacional uA741.



Figura 7.5 - Ampops uA741. [14]

- Várias resistências.



Figura 7.6 - Resistência utilizadas.

Sensor de temperatura - LM35.

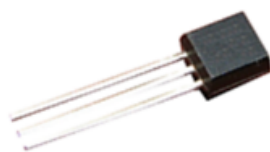


Figura 7.7 - Sensor temperatura. [18]

Cablagem para interligação de componentes e rede interna.



Figura 7.8 - Cablagem de interligação. [38]

Com o objetivo de interligar as diferentes máquinas no mesmo ponto de rede foi fornecido pelo departamento de informática do Grupo Simoldes um *switch* (figura 7.9).



Figura 7.9 - *Switch* de oito conexões de rede utilizado.

O investimento que foi necessário realizar pela empresa Simoldes Aços nos diferentes componentes são apresentados na Tabela 18

Componente	Custo
Arduíno Mega	45.00€
Arduíno <i>Ethernet Shield 2</i>	18.50€
Transformador 220 Va.c./12 Vd.c.	12.00€
Regulador L7805	5.00€
Ampop uA741	2.00€
Varias resistências	5.00€
Sensor de temperatura — LM35	2.50€
Cablagem	10.00€

Tabela 18 - Custo em € por componente utilizado.

Somando todos os valores apresentados na Tabela 18 em cada máquina terá que ser investido em componentes e cablagem o valor aproximado de 100,00€. O total do investimento monetário realizado pela empresa Simoldes Aços no desenvolvimento do projeto Tracker e instalação em duas máquinas CNC foi de 231.65€. A diferença monetária relativa aos 31.65€ justifica-se pelo período de investigação e de experimentação de componentes.

7.2. Comparação de Custos de Projeto Atual com Antecessores

Na presente secção, pretende-se realizar uma comparação, entre as tecnologias anteriores já testadas na empresa e o projeto Tracker desenvolvido no decorrer do estágio.

Supracitado no capítulo 3 (secção 3.2), existiram várias tecnologias testadas na empresa Simoldes Aços como objetivo da monitorização de máquinas.

Devido a valores de investimento monetário demasiado elevados e a limitações identificadas estas tecnologias/projetos foram “abandonadas”.

Um *software* já utilizado e testado na empresa, que ainda não era apelidado de “Tracker”, visto pertencer a uma empresa especializada no desenvolvimento deste tipo de soluções, permitia obter a informação que o projeto Tracker atual permite.

Na empresa Simoldes Aços o total de máquinas são 31 e a instalação deste *software* correspondia a um valor monetário aproximado de 75.000.00€. Perante um investimento monetário tao elevado, a empresa optou por restringir o uso deste, e iniciar o desenvolvimento de um *hardware* e *software* interno, apelidando-o de projeto Tracker.

Uma primeira versão do já designado Tracker, para o mesmo conjunto de 31 máquinas, correspondia a um investimento monetário no valor de 18.000.00€.

O projeto Tracker desenvolvido durante a realização do estágio obriga a um investimento monetário final por máquina no valor aproximado de 100.00€. Multiplicando este valor pelas 31 máquinas CNC o investimento monetário para equipar a unidade fabril Simoldes Aços é aproximadamente 3.100.00€. Este valor corresponde a uma redução direta de custos de aproximadamente 85% quando comparado com o *software* externo e 83% em relação à primeira versão do Tracker.

Quando se extrapolam os custos envolvidos para as restantes empresas do Grupo Simoldes, o valor necessário para o investimento do primeiro *software* seria de 332.000.00€. Já na primeira versão do Tracker o investimento passou a ser de 71.000.00€. O projeto Tracker desenvolvido durante o estágio apresenta um investimento de apenas 15.000.00€.

Este valor, 44.00.00€, é inferior ao investimento total que seria necessário realizar para a empresa piloto (Simoldes Aços) por em prática o primeiro sistema de monitorização das CNCs. Como se pode verificar, o investimento no sistema de monitorização Tracker desenvolvido durante a realização do estágio ao Grupo Simoldes, revela ser 79% mais económico que a solução mais em conta anterior.

8. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS DO PROJETO PARA O FUTURO

O estágio onde foi desenvolvido o sistema de monitorização automático apelidado de Tracker, foi orientado e explorado no sentido de se conseguir extrair o máximo de informação das máquinas CNCs. Na empresa Simoldes Aços, o registo que é feito, é acompanhado de erros provenientes de registos humanos.

No sentido de combater e eliminar estes erros foi necessário desenvolver o projeto Tracker que regista de forma automática os estados das máquinas. No início do estágio foi feito o levantamento dos sinais disponíveis nas máquinas e as suas características. Posteriormente à localização dos sinais no quadro de controlo da máquina iniciou-se à construção de um *hardware* que garantisse que as tensões máximas na entrada do Arduino fossem cumpridas. Após conclusão da fase anterior, iniciou-se a programação. A programação foi desenvolvida em laboratório com recurso à simulação dos sinais disponíveis. O objetivo desta programação é a conversão de sinais elétricos presentes nos quadros de controlo para informação. A etapa que se sucedeu foi a passagem de cablagem para o Arduino e a instalação do *hardware*. A passagem da programação desenvolvida em laboratório para o Arduino e posterior verificação de envio e receção de informação, permitiu obter os primeiros registos automáticos. Com o objetivo de serem corrigidos pequenos desajustes na leitura dos estados foi necessário alterar código de programação e realizar acertos no *hardware* desenvolvido. Um período de melhorias de eficiência na deteção dos diferentes estados e sucessivamente envio de informação para a rede da unidade fabril foi aplicado.

Este tempo garantiu que o projeto Tracker tem um registo fiável e sem erros.

A solução desenvolvida e apresentada neste relatório é completamente fiável e funcional para o objetivo do projeto Tracker. Esta solução permitiu que *softwares* fossem desenvolvidos para que chefes de produção e os mais altos cargos de chefias tenham uma visão real da capacidade de trabalho das máquinas.

Perante essa informação é possível reorganizar o fluxo de trabalho para as diferentes máquinas e conseguir ter um melhor controlo sobre o processo produtivo do molde.

O projeto Tracker está aplicado em duas máquinas CNCs, no período de tempo contido desde Agosto de 2015 até ao presente, estando a recolher informação sem qualquer tipo de problema para os diferentes intervenientes (máquinas, sistemas de comunicação, colaboradores, entre outros).

A informação registada pelo projeto permite a realização de diferentes análises. Destas é possível saber a percentagem efetiva de ativação da máquina. A percentagem de ativação da máquina é importantíssima para todo o processo produtivo. Quando se sabe a percentagem de ativação de cada um dos estados, e o período “típico” em que cada um dos estados ocorre, podem ser tomadas medidas preventivas para a correção destes períodos. Exemplo: desvio das cargas com períodos de trabalho mais longos para o período noturno.

Da informação recolhida é possível identificar que a percentagem de trabalho “efetivo” das máquinas em testes na Simoldes Aços é de 45%. Uma percentagem de trabalho de apenas 45% significa que a máquina esta mais de metade do tempo parada.

Este valor, correspondente às duas máquinas em teste, indica que apesar de a unidade fabril ter uma capacidade teórica de trabalho (dependendo do número de turnos), o rendimento destas máquinas é inferior a 50%. Exemplo: Capacidade de trabalho teórica: dezasseis horas — Capacidade de trabalho efetiva aproximadamente sete horas. Da análise realizada a informação das máquinas é evidente a necessidade e urgência de atuação. A integração com projetos que melhorem a rentabilidade da máquina, como por exemplo, a introdução de um carrocel de ferramentas, assume-se como um fator bastante importante. Do conjunto de informação sabe-se que 15% do tempo a máquina está no estado de *setup*. Para a otimização deste período, a implementação de um carrocel de ferramentas faria reduzir o tempo que a máquina se encontra neste.

Analisando todo o projeto e envolverias com unidade fabril é possível a identificação de oportunidades de melhorias nos seguintes: planeamento, manutenção e colaboradores.

No planeamento através da carga de trabalho adequada aplicada a cada máquina (de acordo com a capacidade da mesma) bem com o reajustamento do fluxo de trabalho dentro da unidade fabril. Na manutenção, porque um conhecimento real do comportamento da máquina é essencial para a previa deteção de problemas. Acompanhadas estão também a identificação de manutenções periódicas designadas por manutenções de 1º nível. Já aos colaboradores é possível através da informação visual (sinalizadores luminosos) a identificação de máquina parada e a atuação rápida para voltar ao trabalho. Exemplo: máquina para e operador sabe que tem de realizar troca de ferramenta

O projeto Tracker realizado no estágio destaca-se por ser um produto inovador e desenvolvido de raiz. Desenvolvido dentro de portas, na empresa Simoldes Aços, faz com que este se apresente como uma mais-valia na personalização e no detalhe pretendido.

Assim o projeto Tracker vai ao encontro das necessidades da empresa. É proposto continuar o processo de evolução das aplicações para o projeto Tracker, uma vez que são fundamentais para a disponibilização de informação para a empresa.

O projeto encontra-se em fase de expansão e será aplicado a uma nova unidade fabril.

Nesta o objetivo é a total monitorização do parque de máquinas, de forma “digital” (informaticamente) e visual (sinalizadores luminosos).

O projeto Tracker é um projeto dinâmico, funcional, com uma capacidade de expansão elevada, de rápida instalação, com baixos custos de investimento e que vai ao encontro da indústria mundial: sistemas totalmente autónomos, com competência para verificação de dados, execução de registos e apresentação de informação.

9. ANEXOS

9.1. Projeto Tracker – Sensores

A definição de sensor pode ser descrita como um dispositivo que permite detetar e captar ações ou estímulos externos e responder em consequência a essas ações. Estes dispositivos trabalham com medidas de grandezas físicas, como: temperatura, pressão, presença, humidade, intensidade luminosa, e mais um conjunto enorme de variáveis. Os sensores tem como característica a possibilidade de transformar as grandezas físicas ou químicas em grandezas elétricas. Assim estes são equipamentos que permitem obter informação do meio que interage. Por outras palavras os sensores são componentes eletrónicos, que possibilitam que um equipamento eletrónico possa interagir com o mundo.

Os sensores foram integrados no projeto como resposta a uma uniformidade do projeto ao parque de máquinas diferenciado da unidade fabril.

Os sensores de vibração, que são frequentemente encontrados em componentes eletrónicos do dia-a-dia, tais como *smartphones*, foram introduzidos no projeto Tracker.

9.1.1. Acelerómetro / Magnetómetro

O acelerómetro (transdutor de aceleração) tem o seu princípio de funcionamento nos cristais piezoelétricos. Quando sujeitos à compressão estes geram um pequeno sinal elétrico proporcional à aceleração. Normalmente quanto maior for o acelerómetro, maior será a sua sensibilidade e menor será a sua gama de frequência máxima utilizável.

O sensor escolhido, acelerómetro MMA7361L de três eixos, na Figura 9.1, foi instalado na árvore de uma das máquinas e tinha como objetivo permitir que acelerações resultantes do movimento em Z da árvore fossem detetadas.

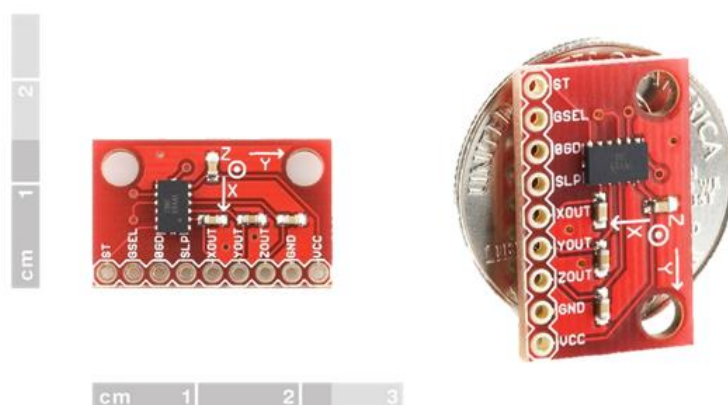


Figura 9.1 - Acelerómetro MMA7361L. [22]

A Figura 9.2 indica onde foi instalado o acelerómetro na máquina piloto e o sentido do movimento correspondente ao eixo Z.

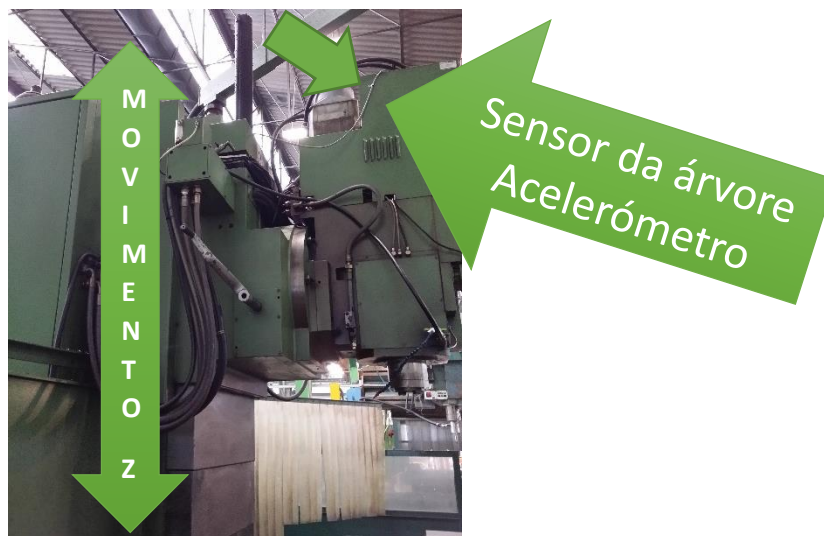


Figura 9.2 - Local onde foi instalado o acelerómetro na máquina.

Características do sensor MMA7361L estão representadas na Tabela 19.

Acelerómetro de três eixos	MMA7361L
Tensão Operacional	2.2 - 3.6 Vd.c.
<i>Low Power:</i>	400 μ A
Modo “ <i>Sleep</i> ”	3 μ A
Sensibilidade	800 mV/g at 1.5g
Tempo de resposta	0.5 mS
Deteção de “ <i>freefall</i> ”	Sim

Tabela 19 - Características do sensor MMA7361L.

Na mesa da máquina foi aplicado um sensor de movimento diferente., um magnetómetro. Um magnetómetro é um dispositivo que é utilizado na determinação das características como intensidade, direção, flutuações e gradiente de qualquer campo magnético.

O funcionamento de um magnetómetro tem as suas bases teóricas, na indução magnética, a ação de um campo sobre um íman elementar de teste e a ressonância magnética.

O funcionamento prático deste instrumento depende da velocidade de oscilação de um íman de pequenas dimensões numa barra, suspenso num plano horizontal. O íman é posteriormente utilizado como deflector fixo para desviar um segundo íman igualmente suspenso.

O magnetómetro utilizado neste projeto é um equipamento LSM303D de três eixos e a sua localização na mesa da máquina está assinalada com a seta verde (Figura 9.3).

A função deste sensor foi a deteção de alterações de movimento em X e Y.



Figura 9.3 - Magnetómetro LSM303D. [25]

A Figura 9.4 indica onde foi instalado o magnetómetro na máquina piloto.

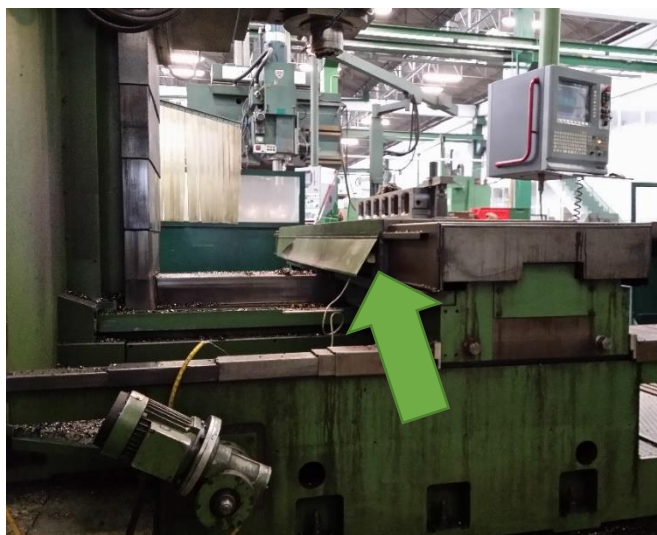


Figura 9.4 - Local onde foi instalado o magnetómetro na máquina.

Características do sensor LSM303D estão representadas na Tabela 20.

Magnetómetro	LSM303D
Tensão Operacional	3.3 Vd.c.
Tensão mínima	2.5 Vd.c.
Tensão máxima	5.5 Vd.c.
Gama de medição:	± 2 , ± 4 , ± 8 , ou ± 12 Graus
Corrente de alimentação:	5 mA
Peso	0,6 Gramas

Tabela 20- Características do sensor LSM303D.

9.1.2. Observações

Após algum tempo em laboratório os sensores e a programação desenvolvida para estes estava concluída. Assim procede-se à implementação na máquina.

Posteriormente à instalação de toda a cablagem necessária, e à fixação no corpo da máquina (locais já referenciados atrás nas Figura 9.2 e Figura 9.4), foi iniciada a recolha de dados e a comprovação da sua veracidade.

Isto é, se os sensores estavam a recolher dados de uma forma correta e se posteriormente a serem tratados pela plataforma Arduino, a informação era apresentada corretamente.

A informação transmitida, neste ponto do projeto, apenas se realiza por cabo série, sendo visualizada num *serial monitor* (Android ou Windows). Esta é constituída pela indicação de movimento ou paragem sempre que se dá alteração do output, visível na Figura 9.5.

Quando os sensores estão “parados”, ou seja os eixos X,Y,Z estão parados o seu *output* tende a ter uma saída inferior a 10 (valor digital). A quando da deteção de movimento de X,Y ou Z, o *output* assume valores superiores a 10, transmitindo a informação de Movimento.

Na Figura 9.5 é visível uma a alteração do estado de parado para movimento (lado esquerdo), e vice versa (lado direito).

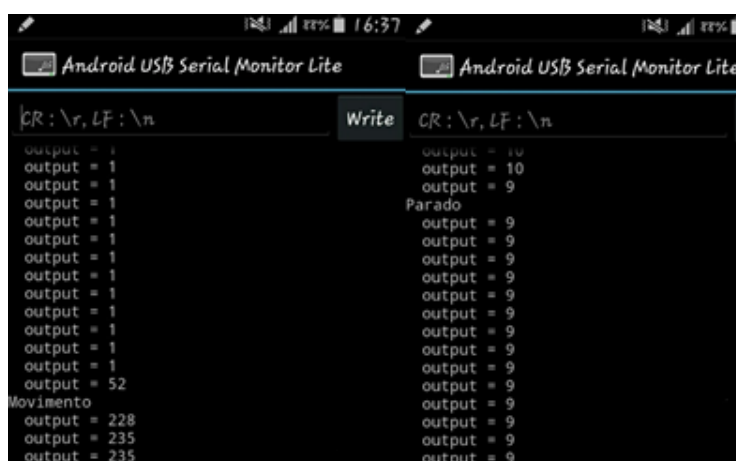


Figura 9.5 - Consola de visualização (serial monitor) Android.

Posteriormente a testes concluiu-se que ambos os sensores não poderiam ser utilizados, uma vez que apresentavam problemas na perceção de movimento dos eixos.

O sensor acelerómetro, implementado na árvore, assinalava movimento sempre que o motor elétrico da árvore era acionado. Isto verifica-se devido a vibração causada pela rotação do motor elétrico ser suficientemente forte para ser detetado movimento. Esta condição impossibilitou esta opção para o eixo Z. O sensor magnetómetro, implementado na mesa da máquina, teve também algumas falhas, ficando assim também excluído.

Um magnetómetro tem uma forma bastante distinta de um acelerómetro para a deteção de movimento. Para o magnetómetro detetar movimento, estava ciclicamente a comparar o valor atual com o valor anterior, uma vez que a mesa ao se mexer altera o valor atual. Embora bastante mais preciso e fiável do que o sensor acelerómetro, este sofria da interferência magnética criada pelas envolventes ao processo. Em suma, ambos os sensores tinham problemas na deteção do movimento, o que fez abandonar o projeto Tracker - sensores.

9.2. Circuitos Pré Final

Os passos de desenvolvimento até obtenção da solução final, circuitos pré final, não são apresentados nesta secção. Estes circuitos ou eram demasiado simples ou tinham demasiados componentes, o que levava a que ambos falhassem.

As principais razões que contribuíram para que os circuitos até a obtenção da solução final fossem colocados de parte foram:

- Períodos de “*blackout*” na informação;
- Quantidade de componentes que utilizavam;
- Custo de implementação substanciais;
- Circuitos não precisos, devido a quantidade de erros e ruídos gerados;
- Espaço que seria ocupado no quadro da máquina.

No entanto estes circuitos foram preponderantes e imprescindíveis para o desenvolvimento da solução final.

Permitiram ter a concreta ideia de quais as necessidades e objetivos a atingir.

9.3. Esquemas / Datasheet

Esquema do módulo de acionamento do eixo X - SIEMENS.

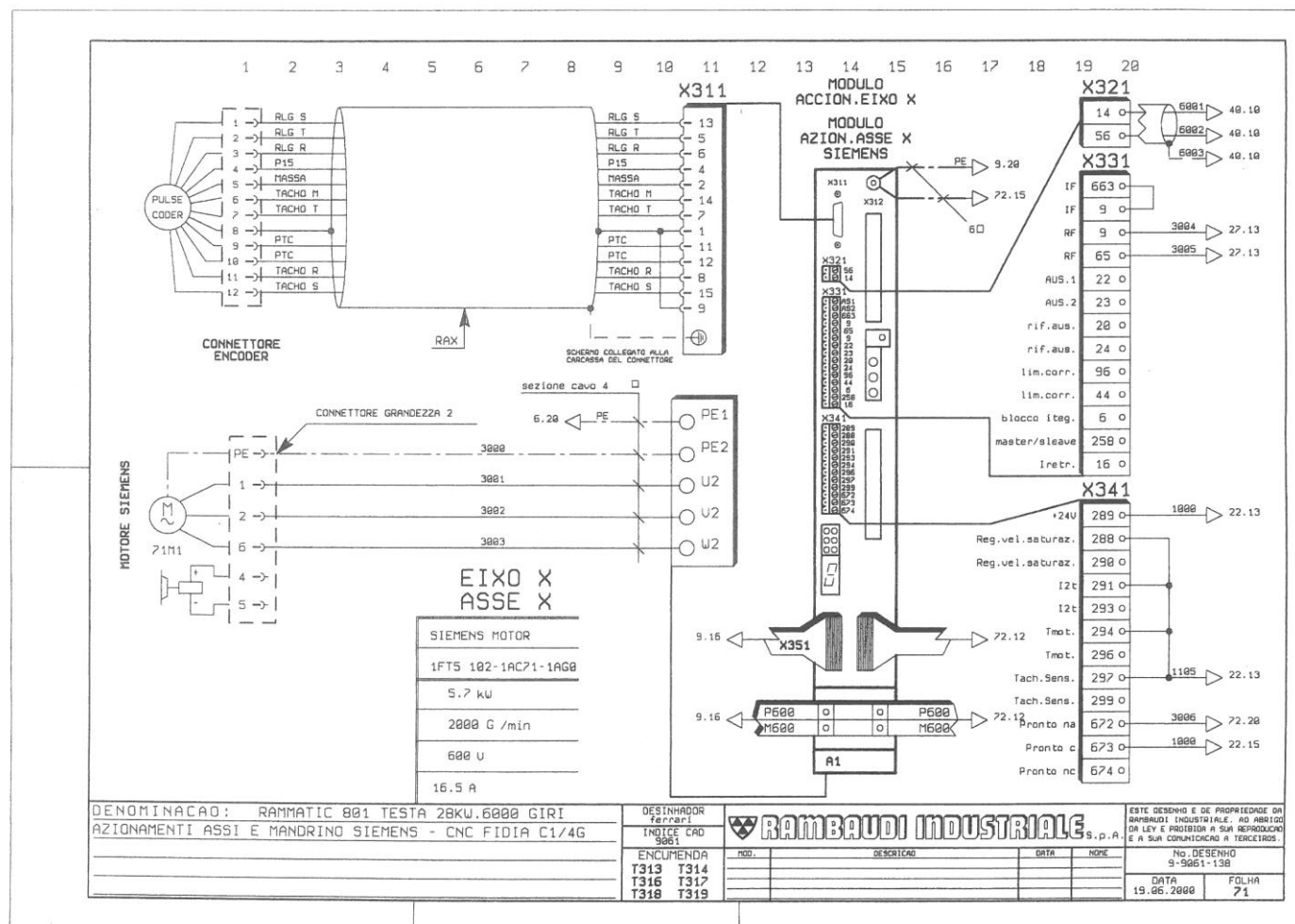


Figura 9.6 - Módulo de acionamento do eixo X - SIEMENS.

Esquema do módulo de acionamento do eixo Y - SIEMENS.

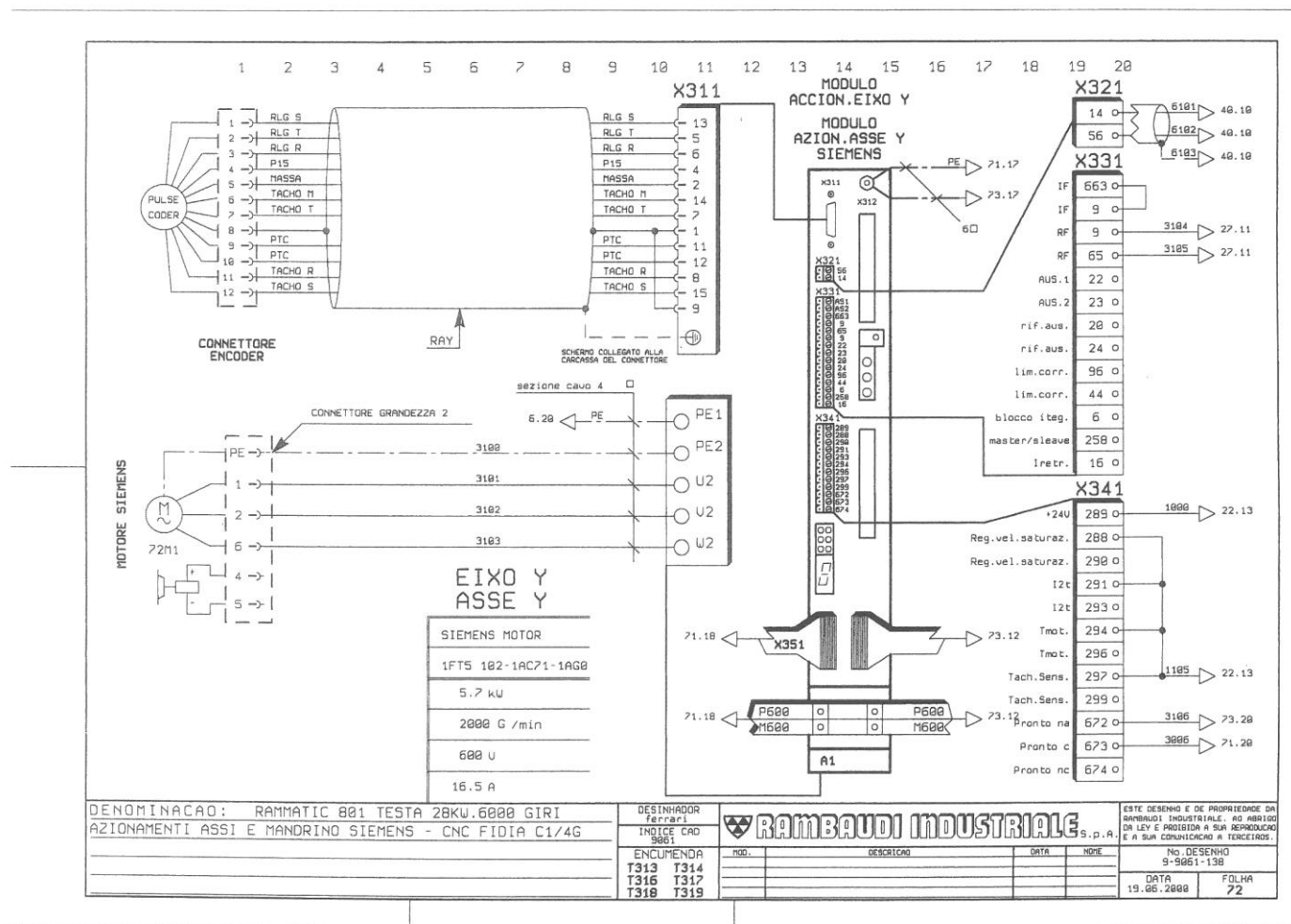


Figura 9.7 - Módulo de acionamento do eixo Y - SIEMENS.

Esquema do módulo de acionamento do eixo Z - SIEMENS.

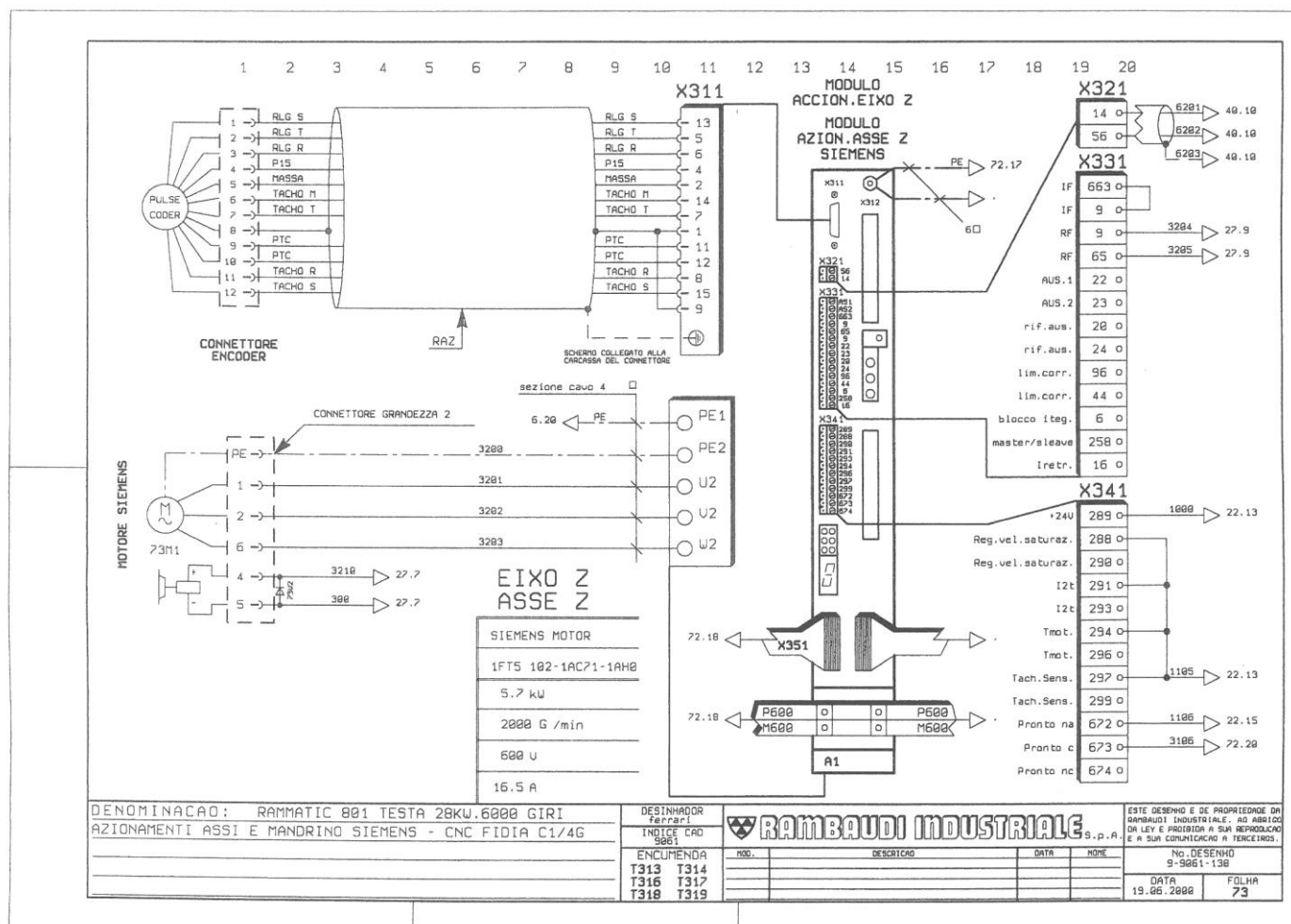


Figura 9.8 - Módulo de acionamento do eixo Z - SIEMENS.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - FRANCO, Sergio - Design With Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits. Singapore : McGraw-Hill Book Co, 1988. ISBN 0-07-100435-1
- [2] - DAMAS, Luis - Linguagem C. FCA, 2006. ISBN 9789727221561
- [3] - Empresa Simoldes, Online em <http://www.simoldes.com>, acessado em 07 de Setembro de 2015.
- [4] - Arduíno, Online em <http://www.arduino.org/about-us>, acessado em 07 de Setembro de 2015.
- [5] - Arduíno Uno, Online em <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>, acessado em 12 de Setembro de 2015.
- [6] - Arduíno Mega, Online em <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>, acessado em 12 de Setembro de 2015.
- [7] - Arduíno Ethernet Shield, Online em <http://www.arduino.org/products/arduino-ethernet-shield-2>, acessado em 07 de Setembro de 2015.
- [8] - Software Arduíno, Online em <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, acessado em 16 de Setembro de 2015.
- [9] - Sensores – Acelerómetros, Online em <http://revistamanutencao.pt/PDF/116/M116AT1.pdf>, acessado em 20 de Setembro de 2015.
- [10] - Finder relay, Online em <https://www.findernet.com/en/node/47658>, acessado em 22 de Setembro de 2015.
- [11] - Relé, Online em <http://www.zen22142.zen.co.uk/ronj/ronj8/cpr.gif>, acessado em 12 de Setembro de 2015.
- [12] - Amplificadores Operacionais, Online em http://moodle.isec.pt/moodle/pluginfile.php/32331/mod_resource/content/1/Complementos_Electronica_AmpOps_14_15.pdf, acessado em 29 de Setembro de 2015.
- [13] - Amplificadores Operacionais, Online em <http://elektron.no.sapo.pt/ampop1.htm>, acessado em 04 Outubro de 2015.

-
- [14] - Amplificadores Operacionais, Online em <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ua741.pdf>,
acedido em 04 Outubro de 2015.
- [15] - Positive Voltage Regulator ICs, Online em <http://www.mouser.com/ds/2/389/CD00000444-249828.pdf>,
acedido em 07 Outubro de 2015.
- [16] - Voltage Regulator L7805CV, Online em <http://pt.mouser.com/search/ProductDetail.aspx?STMicroelectronics%2fL7805CV%2f&q=9NrABl3fj%2fqplZAHiYUxWg%3d%3d>,
acedido em 07 de Outubro de 2015.
- [17] - Temperature Sensor LM35, Online em <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>,
acedido em 16 Outubro de 2015.
- [18] - LM35, Online em <http://blog.vidadesilicio.com.br/wp-content/uploads/2015/06/LM35.jpg>,
acedido em 16 de Outubro de 2015.
- [19] - Temperature Sensor, Online em <http://www.cpinc.com/Terice/Temperature/63%20-%2064%20temperature.pdf>,
acedido em 16 de Outubro de 2015.
- [20] - Rambdaudi, Online em <http://www.ffgeurope.com/rambaudi/en/company.htm>,
acedido em 20 de Outubro de 2015.
- [21] - Acelerómetro MMA7361L, Online em <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/General/MMA7361L.pdf>,
acedido em 25 de Outubro de 2015.
- [22] - Acelerómetro MMA7361L, Online em <https://www.sparkfun.com/products/retired/9652>,
acedido em 25 de Outubro de 2015.
- [23] - SIMODRIVE 611, Online em <https://www.mroelectric.com/pdfs/6sn1123-1aa00-0ca0-manual.pdf>,
acedido em 30 de Outubro de 2015.
- [24] - LSM303D, Online em <https://www.pololu.com/product/2127/specs>,
acedido em 04 de Novembro de 2015.
- [25] - LSM303D, Online em <https://www.pololu.com/picture/view/0J4935>,
acedido em 04 de Novembro de 2015.
- [26] - Empresa Simoldes Aços, Online em http://www.jornaldenegocios.pt/economia/detalhe/revolucao_surpreendeu_menos_na_simoldes_do_que_a_fabrica_nova.html,
acedido em 10 de Novembro de 2015.
- [27] - Grupo Simoldes, Online em http://acs-ger.de/fileadmin/user_upload/bilder/unterseiten/unternehmen/acsluftaufnahme.jpg,
acedido em 10 de Novembro de 2015.
-

- [28] - Empresa Simoldes Aços, Online em http://www3.dsi.uminho.pt/ebeira/setembro_05/docs/livro_final/23antoniorodrigues.pdf, acedido em 10 de Novembro de 2015.
- [29] - Base de Dados, Online em <http://www.portalwebmarketing.com/Tecnologia/Introdu%C3%A7%C3%A3oaoModelodeDadosRelacional/MDRDefini%C3%A7%C3%A3oBaseDadosRelacional/tabid/654/Default.aspx>, acedido em 15 de Novembro de 2015.
- [30] - Visual Studio 2013, Online em <https://www.visualstudio.com/products/visual-studio-professional-with-msdn-vs>, acedido em 12 de Novembro de 2015.
- [31] - Eagle, Online em <http://www.cadsoftusa.com/>, acedido em 05 de Dezembro de 2015.
- [32] - Garrafa Pluma, Online em <http://galpgasbenfica.pai.pt/ms/ms/galpgas-de-benfica-produtos-e-servicos-1500-419-lisboa/ms-90016913-p-2//>, acedido em 10 de Dezembro de 2015.
- [33] - Visitas SA, Online em <http://www.noticiasdeaveiro.pt/pt/21975/pedro-passos-coelho-dolado-da-economia-que-faz-crescer-pede-governo-forte/>, acedido em 10 de Dezembro de 2015.
- [34] - Visitas SA, Online em http://www.rtp.pt/noticias/politica/antonio-costa-preocupado-com-a-sustentabilidade-da-seguranca-social_v832829, acedido em 10 de Dezembro de 2015.
- [35] - Micrologix 1100, Online em <http://epub1.rockwellautomation.com/images/web-proof-large/GL/17445.jpg>, acedido em 10 de Dezembro de 2015.
- [36] - Rambaudi, Online em http://www.perpamakina.com/kullanici-dosyalari/markakutucugu/20120725_9365045428.png, acedido em 10 de Dezembro de 2015.
- [37] - Transformador, Online em http://www.prokelectronics.com/prok/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=609&category_id=17&option=com_virtuemart&Itemid=292, acedido em 10 de Dezembro de 2015.
- [38] - Ethernet Cable, Online em <http://beb.loja2.com.br/img/d0956ac33e5dc787592ca6bc1f5c7614.jpg>, acedido em 10 de Dezembro de 2015.